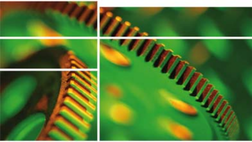
Philippe Arnould
Jean Renaud

Guide de la gestion industrielle

Principes, méthodes et outils



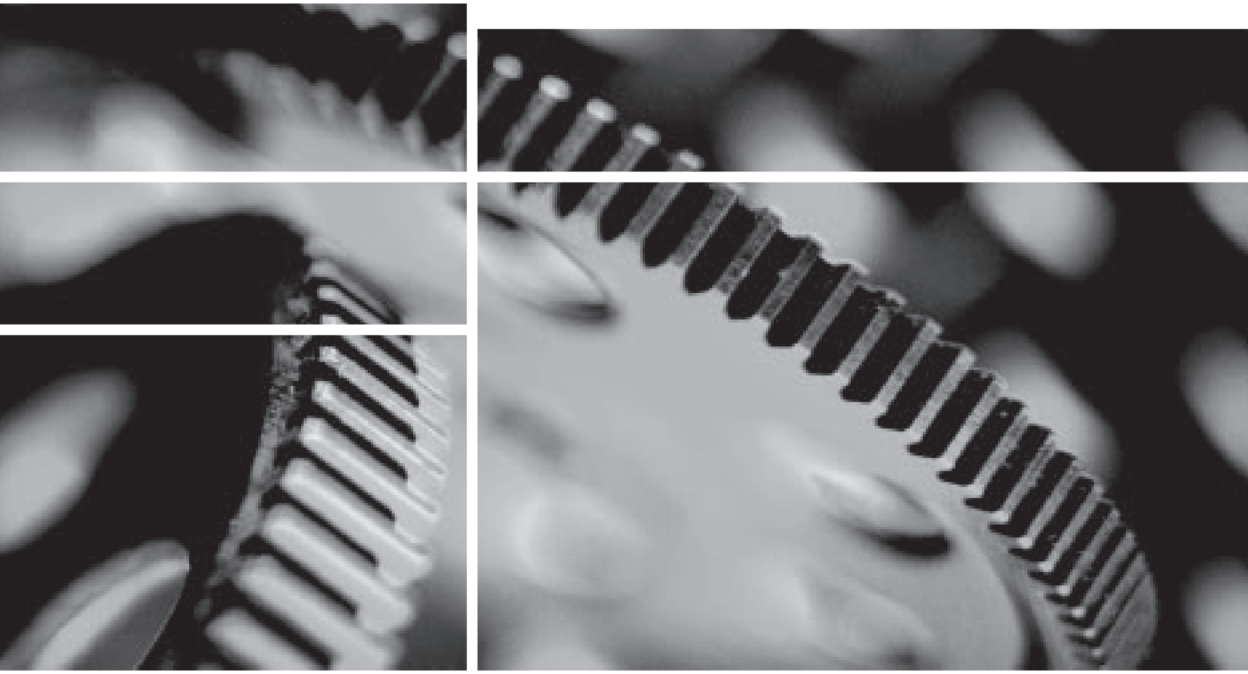
afnor
ÉDITIONS

Guide
de la gestion industrielle

Philippe Arnould
Jean Renaud

Guide de la gestion industrielle

Principes, méthodes et outils



afnor
ÉDITIONS

ISBN 978-2-12-465156-6

Couverture : création AFNOR Éditions – Crédit photo © 2008 JupiterImages Corporation

AFNOR – 11, rue Francis de Pressensé – 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex

Tél. : +33 (0) 1 41 62 80 00 – www.afnor.org

Sommaire

Partie II
Les approches modernes

Les auteurs

Philippe Arnould enseigne la gestion industrielle en section de technicien supérieur au lycée de Remiremont. Expert certifié CPIM (*Certified in Production and Inventory Management*) par l'APICS (*American Production and Inventory Control Society*), il intervient également auprès d'écoles d'ingénieurs et d'organismes de formation continue dans le cadre de modules spécifiques (MRP, Kanban, JIT, SMED…) en intra ou en externe, parfois en interentreprises. Avant sa carrière de professeur, responsable technique chez un sous-traitant du groupe automobile PSA, il a vécu la mise en place du JIT (*Just In Time*).

L'encadrement des thèmes industriels en formation initiale, les formations en entreprise ou l'accompagnement de projets dans le cadre du transfert de technologie lui permettent de vivre de multiples expériences industrielles dans des secteurs variés (industries du bois, menuiseries plastiques et aluminium, électronique, sous-traitance automobile).

Dans le cadre de l'association des CPIM de France, il appartient à deux groupes régionaux multi métiers (GIR Est et GIR Alsace) qui ont pour objectif de partager et d'échanger des expériences en gestion industrielle.

Jean Renaud, est maître de conférences à l'École nationale supérieure en génie des systèmes industriels de L'INPL à Nancy et habilité à diriger des recherches au sein du laboratoire ERPI (Équipe de recherche sur les processus innovatifs). Il enseigne la gestion industrielle, la gestion de projet et la gestion des connaissances dans les différentes écoles d'ingénieurs de l'INPL.

Il est certifié BSCM (*Basics of Supply Chain Management*) par l'APICS (*American Production and Inventory Control Society*) et en Analyse de la Valeur (Association française pour l'analyse de la valeur). Il prépare les étudiants ou les cadres industriels à ces certifications.

Son implication en milieu industriel se concrétise par des suivis de projets d'étudiants ou dans le cadre de conseils en entreprises. Dans ses travaux de recherche, il travaille sur le retour d'expérience et plus particulièrement sur la modélisation multicritères des connaissances industrielles dans le cadre de la conception de nouveaux produits ou du pilotage de système de production.

Préface

Il y a vingt ans la gestion industrielle était peu enseignée dans les universités et les grandes écoles. L'absence de filière dans l'Éducation nationale et le peu d'intérêt à enseigner des principes basés beaucoup sur le bon sens et peu sur les maths y étaient pour quelque chose.

Et pourtant, des enseignants en contact avec le monde industriel se passionnèrent pour ce domaine. C'est ainsi que furent créés les IUT OGP: organisation et gestion de production dont j'eus l'honneur de présider la Commission pédagogique nationale.

L'introduction de la certification américaine CPIM : *Certified in Production and Inventory Management* permit de fédérer toutes les actions entreprises dans les associations et les groupes de travail et de constituer un corps de connaissances solide et indiscuté, puisque fondé sur les meilleures pratiques.

C'est dans ce cadre qu'il y a quinze ans, dans les locaux de l'université de Nancy, je fis connaissance de Jean Renaud et Philippe Arnould qui venaient préparer CPIM. Je fus impressionné par leur sérieux et leur envie d'apprendre et de confronter leurs connaissances et leurs expériences aux meilleures pratiques en gestion industrielle.

Aujourd'hui, j'ai le plaisir de les retrouver en tant qu'auteurs de ce livre que vous tenez entre les mains. Certes, ils avaient déjà publié des livrets sur des thèmes spécialisés, mais ceux-ci ne rendaient pas compte de l'étendue de la connaissance qu'ils pouvaient nous communiquer.

Avec toute leur expérience accumulée, aussi bien auprès des professionnels que des autres enseignants et de leurs étudiants, ils ont franchi un nouveau pas.

Dans cet ouvrage, vous trouverez certes, tous les essentiels de la gestion industrielle, mais aussi nombre d'informations que vous chercherez vainement ailleurs. De ce fait, le titre *Guide de la gestion industrielle. Principes, méthodes et outils* est bien modeste, eu égard à son contenu.

Illustré par de nombreux schémas très clairs, ce livre vous accompagnera longtemps que vous soyez étudiant, enseignant ou professionnel.

Bonne lecture.

Michel Gavaud
Président Directeur Général MGCM

Avant-propos

Depuis de nombreuses années, les entreprises soumises à une compétitivité exacerbée souhaitent améliorer sans cesse la gestion de leur chaîne logistique (appelée par les anglos-saxons : *Supply Chain Management*), afin de proposer à leurs clients des produits de qualité dans des délais de plus en plus courts. De fait, les méthodes de la gestion industrielle ont permis une mutation en profondeur de l'appareil productif accompagnée d'un environnement informatique toujours en évolution.

Les objectifs de la chaîne logistique sont clairs : il s'agit de mieux maîtriser les flux physiques, d'information et de décision de l'entreprise, afin d'optimiser la production et les achats, du plus petit des composants jusqu'à la mise à disposition des produits chez le client.

Si les objectifs sont clairement annoncés dans les entreprises, nombreuses sont celles qui souhaitent être confortées dans leur démarche ou leur approche industrielle. Les entreprises désirent être accompagnées lors de la mise en place d'outils d'amélioration de la production, de méthodes d'implantation d'atelier ou d'amélioration des flux de production.

Quels que soient son importance et celle de son domaine d'activité, son organisation, son processus de fabrication ou son type de management, l'entreprise recherche la méthode qu'il faut appliquer, afin de ne pas perdre d'argent et de ne pas se faire distancer par la concurrence.

Toutes ces méthodes et démarches sont maintenant largement dispensées dans les écoles d'ingénieur ou à l'université. Elles sont ainsi améliorées dans

le cadre de travaux de recherche universitaire. Ainsi, face au déploiement de la gestion industrielle depuis ces trente dernières années, un certain nombre d'ouvrages ont fait leur apparition dans les librairies pour un public spécialisé.

Comment ce livre a-t-il été écrit, et quels sont ses objectifs ?

Face à cette profusion d'études, les auteurs ont souhaité élaborer l'ouvrage le plus complet possible au point de vue méthodologique et innover en abordant certains thèmes comme le système de distribution (DRP). Enseignants en gestion industrielle en formation initiale et continue, ils ont voulu à travers cet ouvrage allier expérience pédagogique, pragmatisme et rigueur scientifique.

L'ouvrage est une synthèse des fondamentaux à connaître mais aussi des modèles de base et des outils d'amélioration à appliquer. Il présente les méthodes de base de la gestion industrielle initiées et validées notamment par l'APICS et propose des outils et des approches modernes de gestion des flux matières, d'informations et de décision.

Cet ouvrage reprend en grande partie les contenus des ouvrages de gestion industrielle de la collection des mémentos Afnor « À Savoir » rédigés par les mêmes auteurs. Il est complété par des chapitres sur la gestion de projet, la qualité totale et la certification, le progrès permanent et la maîtrise du système. Il fait référence à une large bibliographie.

Si la gestion industrielle d'une entreprise se veut globale et intégrée, l'ouvrage présenté est organisé en trois parties indépendantes comprenant chacune quatre chapitres distincts. Il s'agit d'en faciliter l'appropriation, afin de mettre en œuvre ces démarches et outils. Dans ce livre, cependant, s'il est question d'outils et de démarches, les auteurs ne négligent pas l'importance des hommes au sein du système productif.

À qui s'adresse ce livre ?

Cet ouvrage s'adresse aux chefs d'entreprises, aux responsables de production, aux industriels directement confrontés aux problèmes de gestion industrielle au quotidien ou qui souhaitent simplement améliorer leur production. Mais il est écrit aussi en direction des enseignants ou étudiants du secondaire et du supérieur concernés par la gestion industrielle.

Le lecteur pourra consulter l'ouvrage dans l'ordre des parties ou selon le thème recherché. Chaque partie permet une lecture progressive et structurée des approches de la gestion industrielle.

La première partie permet de comprendre les modèles de base de la gestion industrielle. Le chapitre 1 présente le système MRP2, ses plans de décomposition du long terme au moyen terme. Puis, au chapitre 2, son évolution est présentée dans le cadre de la SCM, concrétisée par le développement du DRP et enfin des ERP. Le chapitre 3 concerne la gestion des prévisions et des stocks. Pour clore cette partie, le chapitre 4 est dédié à la gestion de projets, ses approches et méthodes.

La deuxième partie aborde les approches modernes et les outils du progrès permanent. Le chapitre 5 est consacré à la qualité, son concept et ses approches, mais aussi à la certification qui devient incontournable pour toute entreprise. Tendre les flux, diminuer les gaspillages, zéro stock… introduisent le concept du Juste-à-Temps et la méthode Kanban qui sont présentés au chapitre 6. Le chapitre 7 aborde la théorie des contraintes. Enfin, le chapitre 8 propose une approche du progrès permanent et des méthodes associées.

La troisième partie aborde le système de production par la gestion des flux physiques au cours du chapitre 9, l'étude du poste de travail au chapitre 10, les outils d'amélioration de l'implantation d'atelier au chapitre 11, enfin les techniques de maîtrise du système de production comme le SPC, le contrôle par échantillonnage, les plans d'expérience, la maintenance…

Partie I
Les modèles de base

1
Le système MRP

Une méthode de gestion de production a vu le jour en 1965 aux États-Unis, sous l'impulsion de Joseph Orlicky. Cette méthode permettant d'anticiper les besoins du client et de les planifier dans le temps a été initialement appelée MRP (*Material Requirement Planning* ou calcul des besoins nets).

Suite à l'évolution de la gestion industrielle (Qualité Totale, Juste-à-Temps), cette méthode est devenue plus globale et se nomme MRP2 (*Manufacturing Resource Planning* ou management des ressources de production[1]).

1.1 Architecture du système

1.1.1 Principe

À partir des prévisions et des commandes clients, la méthode MRP2 gère la production du long terme au très court terme à partir de quatre niveaux de planification et d'un niveau d'exécution (figure 1.1).

1 Terme introduit par Michel Gavaud en 1981.

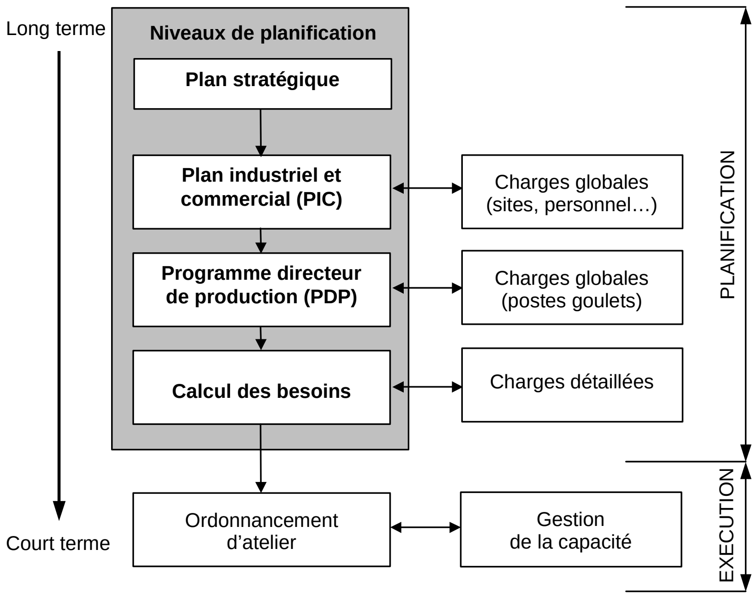


Figure 1.1 Architecture du MRP2

À chaque niveau de planification, il s'agit de satisfaire la demande client (priorité du marché) en intégrant la disponibilité des ressources (adéquation charge/capacité). Pour cela, on vérifie la charge plus ou moins détaillée (quantité de travail homme et/ou machine à effectuer) par rapport à la capacité (disponibilité des ressources).

Cette méthode répond aux questions suivantes : que fabriquer, combien, quand et avec quelles ressources disponibles ?

1.1.2 Les niveaux de planification

- **Plan stratégique**

Ce plan, sous la responsabilité de la direction, a pour objectif de définir les orientations stratégiques de l'entreprise en termes de parts de marché, de choix de site de production ou d'organisation générale, de politique sociale et de type de financement. Couramment, sur un horizon de 2 à 5 ans, ce plan est revu tous les 6 mois ou tous les ans.

Ce niveau de planification :

– donne les objectifs généraux ou stratégiques de l'entreprise (vision ou politique d'entreprise, choix des marchés, achat d'usines…),

– est basé sur des études de marché à long terme (enquêtes d'opinion…),
– prend en compte les contraintes et les objectifs des fonctions marketing, financière et de la production,
– intègre l'évolution des technologies (robotique, automatisme, informatique, centre d'usinage à commande numérique…).

- **Plan industriel et commercial**

À partir du plan stratégique, on élabore les plans industriels et commerciaux (PIC) par famille[2] de produits.

À ce niveau de détail de la planification, ces plans fixent :

– les volumes de production par période,
– les niveaux de stock en début et en fin de période,
– les ressources humaines et matérielles nécessaires,
– les besoins financiers.

Ces plans doivent satisfaire les objectifs fixés par le plan stratégique. Ils sont le résultat d'un consensus entre les directions marketing, financière et production. Couramment, sur un horizon de 6 à 18 mois, ils sont révisés tous les mois.

Pour vérifier la faisabilité du PIC, on calcule les charges globales à l'aide de ratios de production (ratio = volume/période).

- **Programme directeur de production**

Appelés PDP, ces plans essentiels au niveau de la méthode MRP2 sont élaborés à partir des plans industriels et commerciaux (figure 1.2).

À partir des besoins indépendants[3] (prévisions et commandes fermes), ils définissent précisément, par produit, la quantité par période en tenant compte des options et variantes.

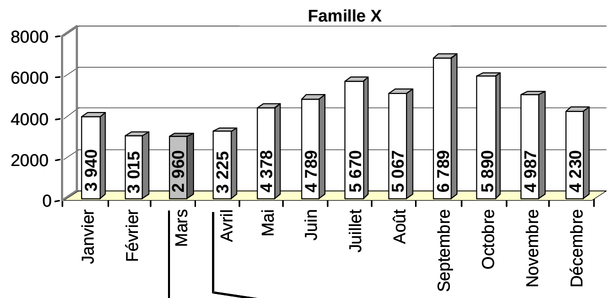
L'horizon du PDP se définit au minimum par le cumul des délais les plus longs d'approvisionnement, de fabrication et d'assemblage pour les composants et le produit fini.

---

[2] D'après l'APICS, une famille est un groupe de produits dont les similitudes de conception et de production facilitent la planification globale, le suivi de leur performance de ventes et occasionnellement l'agrégation de leur coût.

[3] Joseph Orlicky distingue deux types de besoins : les besoins indépendants, ceux qui relèvent des prévisions ou des commandes clients de produits finis ou de pièces détachées et les besoins dépendants, ceux qui sont issus du calcul des besoins.

Il peut varier de trois mois à un an selon les types de produits. Il est revu couramment chaque semaine. Pour le PDP, on calcule les charges globales au niveau des ressources critiques, afin de vérifier la faisabilité.



Référence	S1	S2	S3	S4	Somme
XA	70	70	20	70	230
XB	250	50	50	150	500
XC	200		350	500	1 050
XD	250	325	205	400	1 180
Somme	770	445	625	1 120	2 960

PDP
des produits
de la famille X

Figure 1.2 Exemple de PDP déduit d'un PIC

- ### Calcul des besoins

À partir des nomenclatures et des PDP de chaque produit, on calcule les besoins dépendants de chaque élément, sous-ensemble, matière première à acheter ou à fabriquer.

L'horizon de planification tient compte des délais d'achat et de fabrication des éléments à fabriquer. Couramment, sur un horizon de un à trois mois, ils sont révisés toutes les semaines, parfois tous les jours.

Au niveau du calcul des besoins, on évalue les charges détaillées générées par les ordres de fabrication, qu'ils soient planifiés ou lancés.

- ### Pilotage d'atelier

Le but du pilotage d'atelier est de lancer les ordres d'achat ou de fabrication au niveau de l'atelier.

L'horizon de planification est de l'ordre de la journée à la semaine, la révision est journalière, parfois horaire. Les ordres de fabrication sont lancés et suivis à l'atelier selon les priorités fixées par le gestionnaire d'atelier.

Au niveau du pilotage d'atelier, on contrôle les ordres réalisés par rapport aux ordres planifiés. C'est le tableau de bord du pilotage d'atelier (*cf.* § 1.6.5).

1.1.3 Base de données

Tout système de gestion de production fonctionne à partir d'une base de données structurée et suffisante.

- **Données statiques (données techniques)**

– Fichier **articles** : il décrit les produits pris en compte par le système (produits finis, sous-ensembles, pièces achetées ou fabriquées et matières premières). On y trouve notamment l'identification de l'article (code, description), les données de gestion (taille de lot, stock de sécurité, délai d'obtention, lieu de stockage), les données économiques (coûts standards).

– Fichier **nomenclatures** : il précise les composants (sous-ensembles, pièces et matières premières) entrant dans la composition de l'article parent (composé). On utilise des liens entre les niveaux de nomenclatures qui précisent la quantité de composant nécessaire (coefficient d'emploi[4]). Une nomenclature peut se présenter sous différentes formes (arborescente, modulaire, fantôme, matricielle, valorisée, décalée…).

– Fichier **centre de charges** : c'est une unité de fabrication constituée d'une ou plusieurs personnes et/ou machines. On y trouve notamment l'identification du centre (code, description, emplacement), les données de capacité (nombre de personnes, de machines, capacité disponible, les taux d'efficacité et d'utilisation), les données économiques (taux de l'heure de préparation, de fabrication…), le poste éventuel de remplacement…

– Fichier **gammes** : il décrit les opérations à réaliser et leur séquencement pour transformer une pièce (article) de son état initial à son état final. La gamme précise des données générales (désignation, code, date de création et de mise à jour, commentaires, conditions d'emploi, outillages…), les centres de charge utilisés, les temps standards (préparation, exécution, technologique, transfert, attente…). Il en existe différents types (usinage, assemblage, remplacement, contrôle, transfert). Les gammes sont généralement élaborées par le bureau des méthodes…

– Fichier **fournisseurs et sous-traitants** : il précise l'identification (code, nom, adresse, coordonnées téléphoniques) et les conditions générales (délai d'obtention, prix d'achat…).

---

[4] Nommé coefficient d'emploi par l'APICS. Certains auteurs utilisent également le terme de coefficient de lien ou coefficient de nomenclature.

– Fichier **clients** : il précise l'identification (code, nom, adresse, coordonnées téléphoniques) et les conditions générales (remise, qualité…).

- **Données dynamiques (données de flux)**

– Fichier **prévisions** : il estime par article la demande future. Les prévisions sont généralement élaborés par le service commercial à partir de différentes techniques (*cf.* chapitre 3).

– Fichier **commandes** : il recense le portefeuille de commandes. Il précise la date de livraison, les articles (modèle, options, variantes…) et les quantités, les références du client.

– Fichier **stocks** : il enregistre tous les mouvements d'entrée ou de sortie d'articles afin de donner, à tout instant, un état précis des quantités disponibles.

– Fichier **des ordres de fabrication** : il enregistre tous les ordres de fabrication (OF) générés par le système ou placés par le gestionnaire (planifiés, fermes et lancés) nécessaires à tout nouveau calcul. Chaque OF précise la date de lancement et la date d'exigibilité, les opérations, les composants nécessaires, la taille de lot (transfert, production), les dates de planification en atelier (si l'OF est ordonnancé) et le taux de rebut. Il permet d'enregistrer les informations du suivi de fabrication pour les OF lancés (temps réellement passé, quantités produites, rebuts…).

– Fichier **des ordres d'achat** : il liste l'ensemble des ordres d'achat comprenant les fournisseurs, la description, le prix, la date de livraison, les conditions d'obtention et de paiement, les remises, le type de transport, les clauses diverses, les quantités…

1.2 Plan industriel et commercial (PIC)

1.2.1 Objectifs

Le plan industriel et commercial, appelé PIC se situe juste en dessous du plan stratégique. Il prend en compte l'avis des directions du marketing, des finances, de la production et de la direction de l'entreprise.

À ce niveau d'étude, le PIC ignore les détails des produits (couleur, style, options, variantes…).

À partir des prévisions de vente portant sur des familles de produits, des niveaux de stock désirés et des contraintes de production, on établit le PIC,

puis on vérifie globalement l'adéquation entre la charge de production et la capacité disponible, afin d'assurer le meilleur service client.

À ce niveau de planification, plusieurs stratégies sont envisagées (production à la commande, sur stock…) et discutées entre les différentes directions mentionnées plus haut, pour aboutir à un consensus.

Le PIC se traduit par le plan prévisionnel de production en proposant des quantités de produits par familles et des niveaux de stock disponible à chaque période. L'unité de référence est la famille de produits.

Plusieurs possibilités sont envisagées pour résoudre la charge et/ou la capacité, comme :

- du personnel peut être embauché ou licencié,
- des heures supplémentaires ou des heures chômées, du travail en plusieurs équipes… sont envisagés,
- du stock peut être élaboré pendant les périodes de faible demande pour assurer les périodes de forte demande,
- du travail peut être sous-traité ou du matériel loué,
- …

1.2.2 Principales stratégies au niveau du PIC

- **Production à la demande**

On produit uniquement les quantités en fonction de la demande.

Cela suppose une capacité suffisamment flexible en personnel, matériel, équipements et machines lors de fortes variabilités de la demande.

- **Production nivelée**

On produit des quantités relativement constantes par période (lissage de la production). Ainsi, la capacité de l'outil de production reste inchangée sur des périodes suffisamment longues.

Comme la production ne suit pas la demande réelle, des stocks apparaissent en période de faible consommation que l'on restitue en période de forte demande (production sur stock).

Généralement, on combine ces deux stratégies. D'autres possibilités existent, comme sous-traiter de la production ou louer du matériel de production (achat de capacité).

1.2.3 Incidence du délai client sur la production

- **Production ou assemblage à la commande**

Généralement, on produit à la commande lorsque le délai accepté par le client est supérieur au délai de production ou si le niveau de détail du produit fini n'est pas connu à l'avance. La production à la commande peut intervenir depuis la conception ou uniquement à partir de la fabrication, voire de l'assemblage. Ce type d'organisation a l'avantage de diminuer les niveaux de stock et s'inscrit souvent dans le cadre d'une production à la demande.

- **Production sur stock**

On produit sur stock, par anticipation des demandes. Cela arrive lorsque le délai client est inférieur au délai de production. Cette organisation est courante pour des produits saisonniers, comme les équipements de sport d'hiver ou les vêtements. La standardisation des produits facilite la mise en œuvre de ce type de production, car elle minimise le nombre d'articles et par voie de conséquence le nombre de références en stock.

- **Production mixte**

Usuellement on fabrique des éléments ou des composants standards sur stock, puis on les assemble ou on réalise les dernières opérations des produits à la commande.

Cette production mixte (sur stock et à la commande) a pour objectif de diminuer le délai de production en retardant le plus possible le point de différenciation[5] des produits, appelé « point de découplage » (figure 1.3).

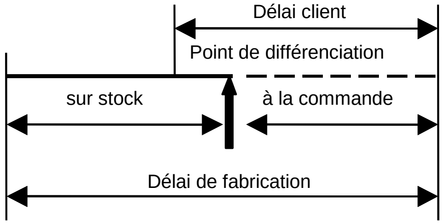


Figure 1.3 Production mixte

---

[5] Point de différenciation ou de personnalisation au plus tard, c'est le point du processus où la personnalisation du produit est nécessaire en fonction de la demande client. Jusqu'à ce point de différenciation, le processus de production est unique et se fait par anticipation et sur stock. Après ce point, on personnalise le produit.

1.2.4 Les différents cycles et les délais

Les auteurs distinguent un certain nombre de cycles ou de délais existants comme :

– **Cycle de production** : c'est le délai de passage d'une pièce dans les ateliers au cours de la production.

– **Cycle commercial** : c'est le délai entre la commande client et la livraison du produit.

– **Cycle d'approvisionnement** : c'est le délai entre la commande de matière et sa livraison.

– **Cycle financier** : c'est le délai entre la réception des produits par le client et le règlement de ces produits.

1.2.5 Exemple de construction d'un PIC

La société Homix fabrique des produits de beauté. Pour la famille des crèmes, les prévisions de vente pour les six périodes à venir sont de 100 produits par période. Le stock de début de la période 1 est de 80. L'entreprise désire niveler sa production et obtenir un stock de 20 en fin de période 6. La production et les niveaux de stock de la famille des crèmes par période sont :

Périodes		1	2	3	4	5	6
Prévisions de ventes		100	100	100	100	100	100
Stock	80	70	60	50	40	30	20
P I C		90	90	90	90	90	90

Production par période = (total des prévisions – stock initial + stock final)/6

= (600 – 80 + 20) / 6 = 90 produits

Pour ce PIC, mais aussi pour ceux des autres familles, il reste à vérifier globalement la charge par rapport à la capacité et à adopter les mesures nécessaires comme : l'augmentation ou la diminution des capacités.

1.3 Programme directeur de production (PDP)

1.3.1 Objectifs

Le programme directeur de production (PDP) est un programme qui définit exactement la quantité d'un produit donné nécessaire par période. Il se situe juste avant le calcul des besoins.

La somme des quantités définies pour les différents PDP relatifs à une famille de produits doit correspondre à la quantité totale définie par le PIC (se reporter à la figure 1.4 au paragraphe 1.3.2).

Le PDP est une référence pour le commercial qui doit satisfaire sa clientèle et le service de production qui doit réaliser son programme en tenant compte des contraintes industrielles. Il est établi à partir des commandes fermes des clients, des prévisions de ventes et des niveaux de stock des produits.

Ses objectifs sont :

– d'anticiper les besoins des clients (prévisions),
– d'intégrer les commandes en portefeuille,
– de convertir les familles du PIC en produits par période sous la forme d'un échéancier indiquant les quantités à produire,
– de suivre l'évolution des ventes par rapport aux prévisions,
– de garantir un taux de service client tout en minimisant le niveau de stock,
– de faire le meilleur usage du matériel, de l'équipement et des ressources,
– d'informer le commercial des produits disponibles à la vente.

1.3.2 Exemple d'un échéancier PDP à partir d'un PIC

La société Homix fabrique une famille de crèmes composées de plusieurs types (C_1, C_2… C_n).

Le PIC traduit une volonté financière de diminution du coût de stockage de cette famille (elle passe de 100 à 20 en fin de période) et intègre les prévisions commerciales et une stratégie de production nivelée sur 4 mois. À partir de ces contraintes, le plan de production fixe les quantités à produire par mois. Il sert de cadre pour l'élaboration des PDP des produits qui composent cette famille.

Dans cet exemple n'apparaissent que les prévisions de vente. Les hypothèses de calcul sont les suivantes : stocks de sécurité, Ss = 0 ; stocks physiques de départ de la famille C = 100, C_1 = 35, C_2 = 40… $C_{n,}$ délai de lancement (assemblage ou fabrication) du PDP = 1 semaine.

Les PDP doivent respecter le cadre fixé par le plan industriel et commercial et doivent être vérifiés en termes de capacité (*cf.* § 1.5). Toute impossibilité de réalisation des PDP donnera lieu à des modifications avant de passer au calcul des besoins.

Famille de produits C

Période en mois	1	2	3	4
Prévisions	140	140	100	100
Stock 100	60	20	20	20
Plan de production	**100**	100	100	100

Produit C_1

Période en semaine	1	2	3	4
P	25	30	10	5
S 35	10	0	10	5
PDP dr		**20**	**20**	
PDP dl	**20**	**20**		

Produit C_2

Période en semaine	1	2	3	4
P	10	5	15	20
S 40	30	25	10	15
PDP dr				**25**
PDP dl			**25**	

… C_n **35**

Mois 1	40	25	…	35	=	100
P.D.P	C1	C2		$\sum C_n$	=	PIC (M1)

Légende : P : prévisions dr : date de réception dl : date de lancement

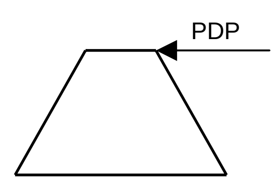
Figure 1.4 Élaboration de PDP à partir d'un PIC

1.3.3 Différents positionnements du PDP

Selon la structure[6] de nomenclature, l'emplacement du PDP est différent. En règle générale, on cherche à définir les PDP au niveau de la nomenclature qui comporte le moins de composants.

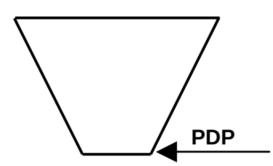
- **Structure convergente**

Faible diversité du produit avec de nombreux composants (mécanique générale, électronique, informatique…).



- **Structure divergente**

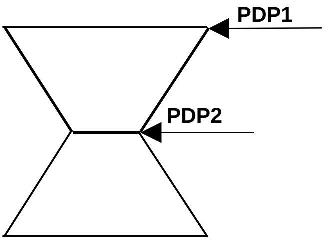
Grande diversité de produits avec peu de composants de départ. (industries, pétrolières, agroalimentaires…).



6 Ces structures sont nommés V, A, T dans le management par les contraintes (*cf.* chapitre 7).

- **Structure en diabolo**

Les produits sont définis à partir de sous-ensembles (point de différenciation ou de découplage) réduits par rapport au nombre de composants de base. Les composants ou les sous-ensembles sont gérés sur stock. Ce type de structure correspond à l'assemblage à la commande. On réalise des PDP à deux niveaux ou multiniveaux en utilisant des nomenclatures de planification. C'est la caractéristique des produits à nombreuses variantes.



1.3.4 Disponible à la vente

Une notion importante est généralement utilisée en gestion industrielle, le disponible à la vente (ATP : *Available to Promise*). C'est l'ensemble des produits fabriqués à partir des prévisions de vente et en attente de confirmation des commandes fermes. C'est tout ce qui peut être vendu, sans modification du PDP.

Le disponible à la vente est un outil important de gestion des commandes pour le commercial. À un instant (t) du planning, le disponible à la vente des périodes à venir correspond à la zone ombrée (figure 1.5).

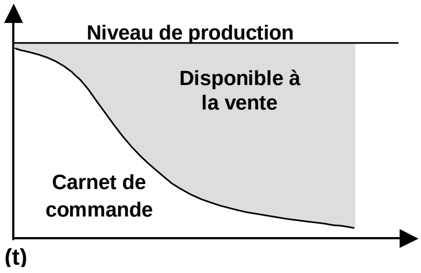


Figure 1.5 Disponible à la vente

1.3.5 Stock prévisionnel

Ce stock, pour une période donnée, correspond à celui de la période précédente moins les besoins (la plus grande valeur entre les prévisions et les commandes) additionné des réceptions prévues et des ordres prévisionnels. Il est prévu pour chaque période.

1.3.6 Exemple de calcul d'un PDP

Données : taille de lot de fabrication = 50, délai d'obtention du lot = 1 période, stock de sécurité Ss = 20, stock de départ = 100.

Explications du calcul[7] :

Période	1	2	3	4	5	6
Prévisions	45	40	40	30	25	30
Commande	35	10	5	7		
Stock prévisionnel 100	**55**	**65**	**25**	**45**	**20**	**40**
Disponible à la Vente	65	35		43		50
PDP date de réception		50		50		50
PDP date de lancement	50		50		50	

- **Stock prévisionnel**

Stock prévisionnel (1) = 100 – Max {45, 35} = 55

SP (2) = 55 – Max {40, 10} = 15 < Ss (20), donc proposition d'un ordre de fabrication (OF de 50).

SP (2) devient : 55 + PDP (2) – Max {40, 10} = 65

SP (3) = 65 – Max {40, 5} = 25

SP (4) = 25 + PDP (4) – Max{30, 7} = 45

SP (5) = 45 – 25 = 20

SP (6) = 20 + PDP (6) – 30 = 40

- **Disponible à la vente**

Le disponible à la vente (DAV) correspond à la quantité du PDP couvrant une période donnée (entre deux lots de PDP) – la somme des commandes de cette période. Durant la première période du PDP, le calcul du disponible à la vente prend en compte le stock physique initial.

– Disponible à la vente initiale = stock physique (0) – la somme des commandes jusqu'au premier OF du PDP.

  DAV (1) = 100 – 35 = 65

[7] Calcul sans tenir compte des horizons de programmation (zones fermes et prévisionnelles). *Cf.* § 1.3.7.

– Disponible à la vente de la période (n) = PDP (n) – la somme des commandes juste avant la prochaine réception attendue du PDP.

  DAV (2) = 50 – Cdes (2) et (3) = 35

  DAV (4) = PDP (4) – Cde (4) – Cde (5) = 43

Notes :

– Toutes les valeurs calculées du tableau sont considérées en début de période sauf pour les stocks prévisionnels (fin de période).
– Les commandes clients consomment les prévisions. Dans notre tableau les prévisions ne se substituent pas aux commandes.

1.3.7 Horizons de programmation

L'horizon de planification pour le PDP couvre au moins le délai cumulé d'approvisionnement et de fabrication de tous les éléments et de leur assemblage pour obtenir des produits finis.

Cet horizon est découpé en plusieurs zones : la zone ferme, la zone prévisionnelle et la zone libre.

- **Zone ferme**

Elle correspond à des ordres fermes, généralement non négociables, non modifiables. Seul le gestionnaire de production peut apporter des modifications.

Cette zone correspond à des délais d'assemblage ou de fabrication où tout changement entraîne un allongement des délais, les OF sont « gelés ».

À titre d'exemple, supposons le délai d'assemblage de 3 semaines d'un produit A composé des pièces B et C, cela correspond à la zone ferme.

Les délais de fabrication pour B sont de 4 semaines et de 6 semaines pour C. Le délai cumulé sera de 3 + 6 (max entre 6 et 4) = 9 semaines. Donc l'horizon minimal de planification est de 9 semaines. Pendant les 3 premières semaines, on ne peut plus changer le type de produit commandé. Au delà, la pièce B ou C peut éventuellement être affectée à d'autres produits.

Le rôle de la zone ferme est d'éviter une certaine « nervosité » du système de planification due à des changements trop fréquents.

Cette zone est essentiellement basée sur des commandes fermes de clients et non sur des prévisions. On cherchera à diminuer cette zone en raccourcissant les délais de fabrication.

- **Zone prévisionnelle**

Au-delà de la zone ferme, les préparations des produits peuvent encore être modifiées dans la limite des délais cumulés. Des modifications de choix de composants ou d'options sont possibles. On a des ordres proposés par le planificateur.

- **Zone libre**

Durant cette zone, tout changement ou toute modification reste possible.

- **Exemple d'un échéancier de PDP avec les zones**

Prenons l'exemple ci-dessous et positionnons les différentes zones :

– zone ferme : 3 semaines,

– zone prévisionnelle : 3 semaines,

– stock physique au début de la période (1) : 50,

– taille de lot : 50,

– stock de sécurité : 0.

	Zone ferme			Zone prévisionnelle		
Période	1	2	3	4	5	6
Prévisions	25	20	20	20	20	20
Commande	27	17	22	15	12	
Stock prévisionnel 50	23	6	34	14	44	24
Disponible à la Vente	6		13		38	
PDP date de réception			50		50	
PDP date de lancement		50		50		

À un instant (t) du planning :

La zone ferme (périodes 1 à 3)

– Le stock prévisionnel se calcule en prenant uniquement en compte les commandes fermes.

– Le disponible à la vente se calcule en tenant compte des commandes fermes.

La zone prévisionnelle (périodes 4 à 6)

– Le stock prévisionnel se calcule en tenant compte de la plus grande valeur entre les commandes fermes et les prévisions.

– Le disponible à la vente se calcule en tenant compte des commandes fermes.

1.4 Calcul des besoins

1.4.1 Objectifs

Le calcul des besoins consiste à déterminer les besoins dépendants relatifs aux OF positionnés au niveau des PDP. Il porte sur le même horizon que ces derniers. L'objectif du calcul des besoins est de respecter le niveau du service client tout en optimisant l'utilisation du matériel, la main-d'œuvre et les équipements au moindre coût. Il répond aux questions suivantes : quel article fabriquer, combien en fabriquer et quand le programmer ?

Il fournit l'ensemble des ordres de fabrication et d'achat prévisionnels des articles à partir d'un échéancier journalier en prenant en compte :

– L'échéancier des programmes directeurs de production.
– Les nomenclatures produits : c'est la liste de tous les sous-ensembles, éléments et matières premières composant un produit. La nomenclature peut prendre plusieurs formes : mono niveau, arborescente, modulaire, fantôme, matricielle, valorisée… Dans l'agroalimentaire, on parle de recette ou de formule.
– Les délais d'assemblage et de fabrication des articles et des composants, ainsi que les délais d'approvisionnement des articles achetés.
– Les niveaux de stocks par article et par composant.

Le calcul des besoins doit respecter les contraintes de capacité des machines ou des autres centres de production (*cf.* § 1.5).

On distingue deux types de besoin :

– **Besoin brut** : total des demandes dépendantes et indépendantes d'un même article sans prendre en compte le niveau de stock ni les réceptions prévues.

  Ces demandes dépendantes sont obtenues en multipliant le coefficient d'emploi de chaque article par les quantités figurant à des niveaux supérieurs de nomenclatures et décalées du délai d'obtention (voir l'exemple de calcul ci-dessous).

– **Besoin net** : quantité obtenue en déduisant des besoins bruts et des réservations[8], le stock disponible ainsi que les réceptions prévues et en ajoutant le stock de sécurité.

[8] Quantité allouée à un ordre de prélèvement, non encore sorti du magasin.

Suivant la technique de lotissement retenue et le décalage lié au délai d'obtention, les besoins nets deviennent des ordres prévisionnels (achat ou fabrication).

Le résultat du calcul des besoins, c'est de proposer des ordres (de fabrication et d'achat) et d'émettre des messages d'action et d'alerte sur différents OF (lancer, avancer, repousser, annuler…).

- **Note**

Un ordre proposé par le système a une date de début et une date de fin calculées grâce au délai d'obtention.

Le gestionnaire transforme les ordres proposés selon les périodes de planification (*cf.* § 1.3.7) suivant deux statuts :

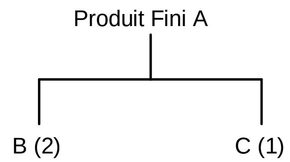
- **Ordre ferme** ou **« gelé »** en quantité et dans le temps. L'ordre ne peut pas être modifié automatiquement par le système informatique, mais uniquement par le responsable du planning.
- **Ordre lancé** signifie qu'une décision d'exécution est prise (fabrication ou commande). Une date de réception attendue est prévue.

- **Exemple de calcul de besoins**

Prenons l'exemple de la fabrication d'un produit A composé de 2 articles B et d'1 article C.

Les délais d'assemblage de A et de fabrication de B sont de 2 semaines et pour C de 1 semaine.

Nomenclature du produit A



- B (2) : A est composé de 2 articles B, 2 est le coefficient d'emploi associé au lien entre A et B.
- Taille des lots pour A = lot pour lot (quantité fabriquée égale à la quantité demandée), B = 30 et C = 40.
- Stock physique de départ pour A = 10, B = 10 et C = 5.

	Périodes	1	2	3	4	5
Produit fini A	Besoins bruts				**30**	
Taille de lot : lot pour lot	Réceptions attendues					
Délai : 2 s	Stock disponible 10	10	10	10	0	0
Stock de sécurité : 0	Besoins nets				20	
	OF proposé (fin)				20	
	OF proposé (début)		20			
Article B	Besoins bruts		40			
Taille de lot : 30	Réceptions attendues[9]		15			
Délai : 1 s	Stock disponible 10	10	15			
Lien : 2	Besoins nets		25			
Stock de sécurité : 10	OF proposé (fin)		30			
	OF proposé (début)	30				
Article C	Besoins bruts		20			
Taille de lot : 40	Réceptions attendues					
Délai : 1 s	Stock disponible 5	5	25			
Lien : 1	Besoins nets		20			
Stock de sécurité : 5	OF proposé (fin)		40			
	OF proposé (début)	40				

40 correspond à 2 x 20 de A

Délai de fabrication 1 semaine

Dans cet exemple il s'agit de calculer les besoins pour les articles A, B et C.

– **Besoin net d'une période (n)** = besoin brut de la période (n) – stock prévisionnel de la période (n – 1) – réception attendue de la période (n) + stock de sécurité.

  Si la valeur des besoins nets est strictement inférieure au stock de sécurité, alors des ordres de fabrication ou d'achat sont proposés (selon la taille de lot fixée).

  Besoins nets de l'article C pour la période (2)

  = Besoins bruts période (2) – Stock prévisionnel période (2) + stock de sécurité

  = 20 – 5 + 5 = 20

[9] Quantité d'un produit correspondant à un ordre lancé et qu'on s'attend à recevoir à une date donnée (selon le *Dictionnaire de gestion industrielle* de Michel Gavaud, CFPIM, CIRM, CSCP, CPF et Raymond Biteau,CFPIM, 1994).

- **Stock prévisionnel de la période (n)** = stock de la période (n – 1) + réception attendue de la période (n) + ordre proposé et prévu en réception à la période (n) – besoin brut de la période (n).

  Stock prévisionnel de l'article C pour la période (2)

  = Stock prévisionnel période (1) + Ordre planifié pour la période (2) – Besoins bruts période (2)

  = 5 + 40 – 20 = 25

1.4.2 Données de production

Pour construire un échéancier de calcul des besoins, certaines informations sont nécessaires.

- **Taille de lot** : quantité déterminée d'articles à produire.

  Généralement, c'est la quantité économique, se reporter au paragraphe 3.2.4. Si la quantité à produire est supérieure à la taille de lot, alors on prend un multiple de ce lot. Plus l'article se situe haut dans la nomenclature (valeur importante), plus la taille de lot devrait correspondre aux besoins nets, afin de réduire les coûts de stockage et de se rapprocher du « juste nécessaire ». Cette technique de lotissement se nomme : lot pour lot.

- **Délai d'obtention :** durée nécessaire à la réalisation de l'ordre (de fabrication ou d'approvisionnement).

  Le **délai de fabrication** comprend le temps de file d'attente devant la machine, le temps de préparation de la machine, le temps de transformation, le temps d'attente et le temps de transfert.

  Le **délai d'approvisionnement** correspond à la durée entre l'expression d'une demande et la mise à disposition de l'article.

- **Lien de nomenclature** : relation entre le composé et le (ou les) composant(s) qui le constitue (nt). Ce sont des relations « parent-enfant ». Cette relation est affectée d'un coefficient d'emploi.

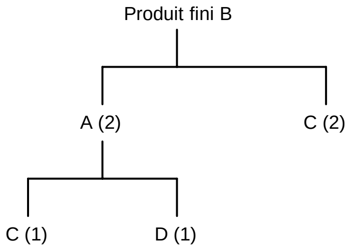
- **Stock physique de départ** : stock réel d'articles au magasin au moment du calcul des besoins.

- **Stock prévisionnel** : stock obtenu après chaque calcul des besoins par période.

Toutes les données inscrites dans les colonnes (réception attendue, besoin brut, ordre proposé…) sont valables en début de période. Le stock prévisionnel quant à lui, est valable en fin de période.

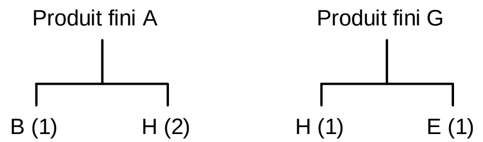
1.4.3 Exemples de calcul

- **Produit comprenant au moins un composant à plusieurs niveaux de nomenclature**



	Périodes (semaine)	1	2	3	4	5
Produit fini B	Besoins bruts					50
Délai : 1 s	Réceptions attendues			20		
Taille de lot : 30	Stock disponible 25	25	25	45	45	25
Stock de sécurité : 0	Besoins nets					5
	OF proposés (fin)					30
	OF proposés (début)				**30**	
Article A	Besoins bruts				60	
Lien : 2	Réceptions attendues					
Délai : 1 s	Stock disponible 10	10	10	10	10	
Taille de lot : 20	Besoins nets				50	
Stock de sécurité : 0	OF proposés (fin)				60	
	OF proposés (début)			**60**		
Article C	Besoins bruts			60	60	
Lien : 1	Réceptions attendues					
Délai : 1 s	Stock disponible 20	20	20	10	0	
Taille de lot : 50	Besoins nets			40	50	
Stock de sécurité : 0	OF proposés (fin)			50	50	
	OF proposés (début)		50	50		
Article D	Besoins bruts			60		
Lien : 1	Réceptions attendues					
Délai : 1 s	Stock disponible 20	20	20	0		
Taille de lot : 40	Besoins nets			40		
Stock de sécurité : 0	OF proposés (fin)			40		
	OF proposés (début)		40			

- **Deux produits comprenant des éléments communs**



	Périodes (semaine)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Produit A	Besoins bruts				50	
Délai : 1 s	Réceptions attendues					
Taille lot : 30	Stock disponible 25	25	25	25	5	
Stock de sécurité : 0	Besoins nets				25	
	OF proposés (fin)				30	
	OF proposés (début)			**30**		
Produit G	Besoins bruts			40		
Délai : 1 s	Réceptions attendues					
Taille lot : 10	Stock disponible 15	15	15	5		
Stock de sécurité : 0	Besoins nets			25		
	OF proposés (fin)			30		
	OF proposés (début)		**30**			
Article B	Besoins bruts			30		
Délai : 1 s	Réceptions attendues					
Taille lot : 10	Stock disponible 10	10	10	0		
Stock de sécurité : 0	Besoins nets			20		
Coefficient lien : 1	OF proposés (fin)			20		
	OF proposés (début)		20			
Article H	Besoins bruts		30	60		
Délai : 1 s	Réceptions attendues					
Taille lot : 20	Stock disponible 20	20	10	10		
Stock de sécurité : 0	Besoins nets		10	50		
Coefficient lien : 2,1	OF proposés (fin)		20	60		
	OF proposés (début)	20	60			
Article E	Besoins bruts		30			
Délai : 1 s	Réceptions attendues					
Taille lot : 20	Stock disponible 5	5	15			
Stock de sécurité : 0	Besoins nets		25			
Coefficient lien : 1	OF proposés (fin)		40			
	OF proposés (début)	40				

1.4.4 Cas d'emploi et identification des besoins

- **Cas d'emploi**

Pour un composant donné, il s'agit de recenser tous les parents à partir du fichier nomenclatures avec, pour chacun d'eux, les coefficients d'utilisation et les conditions d'application.

Exemple de cas d'emploi (selon le deuxième exemple du § 1.4.3) :

Composant	Parent
H	A (2)
H	G (1)

- **Identification de l'origine des besoins**

Il s'agit de recenser les ensembles ou les produits finis qui sont à l'origine des besoins d'un article donné (limitée au niveau supérieur ou remontée jusqu'à la commande client ou à la quantité du PDP[10]).

Cette identification est utilisée, par exemple, lors de montage de produits finis pour connaître le nombre d'éléments nécessaires.

Exemple d'identification :

Composant	Période 1	2	3	4
H (2)			60	
H (1)		30		

Produit	Période 1	2	3	4
A			30	
G		30		

10 Plan directeur de production.

1.5 Gestion de la capacité

1.5.1 Définition

Selon l'APICS, la capacité est la quantité de travail susceptible d'être réalisée par un centre de charge[11] (par exemple : un moyen de production, un opérateur ou une organisation) pour une période donnée. Elle s'exprime généralement en heures machines, en heures main-d'œuvre ou en cadence de production.

Deux types de capacité sont couramment utilisés :

– **Capacité disponible** : c'est la capacité restante après les réservations déjà effectuées.

– **Capacité requise** : c'est la capacité nécessaire pour assurer une production définie pour une période donnée.

  Elle est souvent appelée « **charge** » : c'est le travail à réaliser sur un centre de charge ou une unité de production sur une période donnée.

Usuellement, pour représenter la charge et la capacité, on utilise le principe de l'entonnoir (figure 1.6). Le contenu représente la charge (les en-cours et les ordres de fabrication). Le diamètre de sortie représente la capacité disponible. Ce qui sort réellement représente le niveau de production maximal du centre de charge (*output*).

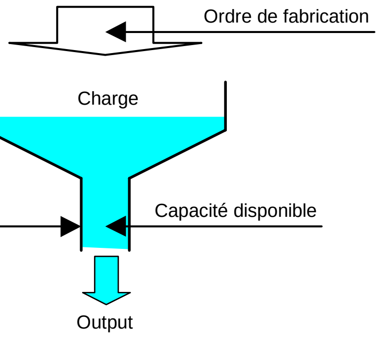


Figure 1.6 Charge/Capacité

[11] Unité de fabrication, constituée d'une ou de plusieurs personnes et/ou machines qui peut être considérée comme une entité du point de vue de la planification des besoins en capacité et de l'ordonnancement (selon la traduction du dictionnaire par Michel Gavaud, MGCM et ses partenaires formateurs, APICS, 12e édition).

1.5.2 Les niveaux de gestion de la capacité

La gestion de la capacité consiste à établir, mesurer, surveiller et ajuster la capacité, à chacun des niveaux de planification (PIC, PDP, calcul des besoins, pilotage d'atelier) en vue d'en vérifier la faisabilité et d'en assurer la bonne exécution.

Le processus de gestion de la capacité se décrit, schématiquement, ainsi :

– déterminer, par période, la capacité disponible,
– déterminer, par période, la charge induite par les programmes,
– résoudre les écarts entre la capacité disponible et la charge, en ajustant la capacité disponible à la charge demandée ou inversement.

En fonction du niveau de planification, le degré de détail du calcul change et l'horizon de planification diffère (en cohérence avec les plans ou les programmes de fabrication associés) (figure 1.7).

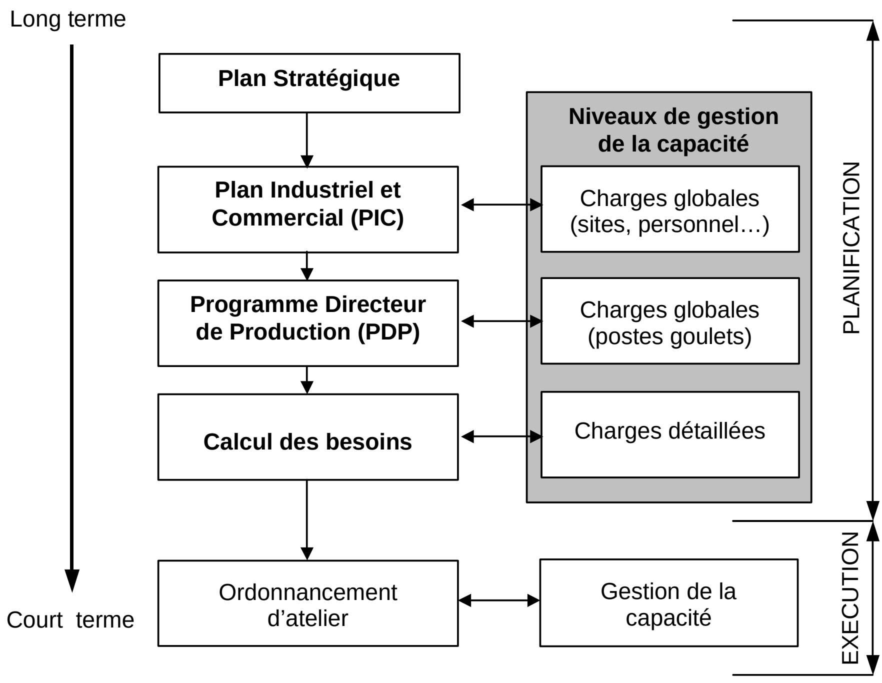


Figure 1.7 Les différents niveaux de gestion des capacités

- **Charges globales au niveau du plan industriel et commercial**

Il s'agit de vérifier si la charge dépasse la capacité disponible des ressources critiques afin de prévoir les investissements lourds tels que l'achat de terrains, d'usines et d'équipements.

Généralement, ces ressources critiques sont vérifiées, car le délai pour augmenter leur capacité peut être relativement long (embauche et formation de personnel, extension ou acquisition de site de production…).

À ce stade, on utilise fréquemment des ratios de production, souvent appelés macrogammes (en anglais : *Bill of Ressources*) basés sur un historique et qui offre la possibilité de convertir les plans de production par famille (issus des PIC) en charge de travail. Ce calcul permet de vérifier la faisabilité de ces plans en comparant la charge induite à la capacité disponible et de prendre si nécessaire les mesures adaptées.

Les ratios couramment utilisés sont, par exemple :

– les heures moyennes de main-d'œuvre directe par vente (exprimée en unité monétaire),
– les heures standards par unités produites.

En cas de dépassement de capacité (surcharge), on peut :

– proposer des heures supplémentaires,
– utiliser les 2 x 8 ou 3 x 8 pour le personnel,
– utiliser le travail annualisé pour le personnel,
– embaucher du personnel (intérimaires, CDD, CDI),
– utiliser de la sous-traitance,
– transférer le surplus de charges vers d'autres centres de production,
– louer du matériel de production, de l'équipement ou l'acheter,
– en dernier recours, renégocier le plan industriel et commercial.

En cas de sous charge, on peut :

– utiliser les jours chômés pour le personnel,
– négocier une diminution du temps de travail avec les salariés, en vue de capitaliser des heures pour des périodes de surproduction (flexibilité),
– déplacer le personnel sur d'autres sites de production,
– ne pas renouveler les contrats de travail,

– supprimer ou transférer certaines machines,
– réduire ou supprimer la sous-traitance,
– dynamiser les ventes (promotions de produits, actions commerciales…),
– proposer de la formation intra et/ou inter entreprise,
– réorganiser les sites de production (restructuration).

- **Charges globales au niveau du programme directeur de production**

Comme pour les plans industriels et commerciaux, il s'agit de vérifier si les PDP proposés sont réalistes et faisables. Le calcul s'effectue au niveau des centres de charges critiques (postes goulets).

La charge de travail est définie à partir des macrogammes, c'est le nombre d'heures d'exécution multiplié par le nombre de produits à réaliser. Ce calcul est plus précis, car il intervient au niveau des produits et non pas des familles de produits.

En cas d'écart entre cette charge et la capacité, plusieurs actions sont possibles, comme pour les PIC, tout en respectant le niveau de service client. Couramment, on décale en amont les ordres des PDP (lissage de la production), mais selon le degré de flexibilité de la main-d'œuvre, on peut aussi négocier une augmentation ponctuelle du temps de travail. Les PDP validés par ce processus servent de référence au calcul des besoins.

- **Charges détaillées au niveau du calcul des besoins**

Il s'agit de calculer la charge de travail générée par les ordres de fabrication et d'en déduire les besoins nécessaires en ressource (main-d'œuvre et machines) pour les réaliser.

Tous les ordres de fabrication proposés, fermes ou lancés, sont considérés à ce niveau. Ce calcul se fait d'une manière précise, à partir des temps gamme, afin de connaître les besoins détaillés en capacité pour chaque centre de charge.

Initialement, les ordres de fabrication (OF) sont convertis en charge de travail à capacité infinie[12], puis on intègre la capacité disponible, afin d'identifier les surcharges de travail.

---

[12] La capacité infinie consiste à calculer la capacité nécessaire par centre de charge sans prendre en compte sa capacité disponible.

Selon les dépassements de capacité, certains OF sont réordonnancés afin d'assurer la faisabilité du programme : c'est le chargement à capacité finie[13]. La plupart des logiciels[14] proposent un profil de charge par centre de charge pour faciliter cette vérification (*cf.* § 1.5.6).

En cas de surcharge, on peut :

- appliquer des heures supplémentaires,
- utiliser une machine de production plus efficace,
- répartir la charge sur d'autres machines,
- avancer certains OF (réordonnancement), s'il existe de la capacité disponible en amont,
- en dernier recours, retarder ou livrer partiellement certains OF (en accord avec les clients).

En cas de sous charge, on peut :

- diminuer le temps de travail (flexibilité),
- réaffecter le personnel sur d'autres unités,
- avancer les OF pour utiliser la capacité disponible et produire plus tôt que prévu.

1.5.3 Mesure de capacité

Elle s'exprime généralement en :

- **Unités**, selon le type de produits fabriqués (par exemple : le nombre de voitures fabriquées, le nombre de barils de bière produits, le tonnage de papier fabriqué…).
- **Heures standards** comptabilisant la durée nécessaire à une machine et/ou à un opérateur pour réaliser un travail dans des conditions normales. La capacité doit être mesurée au niveau des centres de charges.

---

13 La capacité finie consiste à ne pas charger un centre de charge au-delà de sa capacité disponible.

14 *Cf.* l'ouvrage *Organisation et gestion de la production* (chapitre 11 *Choix des progiciels et logiciels de gestion de production*). de Georges Javel, Dunod, 2004.

1.5.4 Calcul de la charge

– **Pour un ordre de fabrication**, il s'agit de prendre en compte le temps de préparation ou le temps de changement d'outillage et le temps unitaire de fabrication par le nombre de pièces à réaliser.

Exemple :

Soit un OF de 300 pièces à fabriquer sur un centre de charge dont le temps de préparation est de 1,5 heure et l'opération unitaire de 0,02 h. La charge de travail sera = temps de préparation + nombre de pièces x temps unitaire, soit : 1,5 + (300 x 0,02) = 7,5 heures.

– **Pour un centre de charge**, il s'agit d'additionner la charge de chacun des ordres planifiés ou lancés pour une période donnée.

Exemple :

Pour une période donnée, un centre de charge doit réaliser trois ordres de fabrication.

Type d'ordre	Quantité	Temps de changement	Temps de fabrication/pièce	Total
OF1 Lancé	50	1 h	0,1 h	6 h
OF4 Planifié	100	1,5 h	0,2 h	21,5 h
OF7 Planifié	200	2,5 h	0,15 h	32,5h
			Total	60 h

La charge de travail de ce centre sera de 60 heures.

Explication du calcul :

Heures standards pour l'OF4 = Temps de changement + nombre de pièces x Temps de fabrication/pièce.

Total = 1,5 h + (100 x 0,2 h) = 21,5 heures standards

1.5.5 Calcul de la capacité disponible

Pour déterminer la capacité disponible, il existe deux possibilités : soit la calculer (capacité calculée) soit la mesurer (capacité démontrée).

- **Capacité calculée**

Capacité calculée =
capacité théorique x taux d'utilisation x taux d'efficience

– **Capacité théorique** : c'est le nombre d'heures ouvrées (elle ne tient pas compte des pannes, des arrêts, du temps de maintenance…).

  Exemple :

  Un centre de charge comporte deux machines et deux équipes de travail. Le temps de travail est de 8 heures par jour et ce pendant 5 jours.

  Capacité théorique = 2 x 2 h 8 h 5 = 160 heures

– **Taux d'utilisation** : c'est le rapport entre les heures réellement travaillées et les heures théoriques.

  Exemple :

  Ce même centre de charge n'a réellement travaillé que 129 heures car il a fait l'objet de 8 heures de maintenance, il est tombé en panne pendant 15 heures et il a été arrêté pendant 8 heures.

  Taux d'utilisation = 129/160 = 0,80

– **Taux d'efficience** : c'est le rapport entre les heures standards et les heures réellement travaillées, soit l'écart entre le temps alloué et le temps réalisé.

  Exemple :

  Une opération de tournage de 400 pièces nécessite 0,2 heure d'usinage par pièce sur un centre de charge. Le temps de réglage est de 2 heures. Le temps standard d'usinage (prévu dans la gamme) des 400 pièces est de : (400 x 0,2 h) + 2 h = 82 heures, mais il a fallu réellement travailler 90 heures pour usiner ces 400 pièces.

  Taux d'efficience = 82/90 = 0,91

  La **capacité calculée** de ce centre de charge est donc égale à :

  160 x 0,80 x 0,91 = 116, 48 heures

- **Capacité démontrée**

Une autre manière d'évaluer la capacité disponible sur un centre de charge consiste à recenser les capacités réelles sur plusieurs périodes antérieures (historique) et d'en faire la moyenne.

Exemple :

Pendant les cinq dernières périodes, un centre d'usinage a démontré les capacités réelles suivantes : 56 heures, 67 heures, 60 heures, 64 heures et 61 heures.

La capacité démontrée est égale à :

(56 +67 + 60 + 64 + 61)/5 = 61,6 heures

Calcul de la capacité requise

Il s'agit de calculer la capacité réelle nécessaire pour assurer la charge de travail. La capacité requise se définit par le rapport :

$$\frac{\text{Charge}}{\text{Taux d'efficacité x Taux d'utilisation}}$$

Exemple :

Avec une charge de 60 heures et si le taux d'utilisation est de 70 % et le taux d'efficacité est de 110 %, la capacité requise pour le centre de charge sera égale à :

60/(0,70 x 1,10) = 78 heures

1.5.6 Profil de charge

Le profil de charge, très visuel, met rapidement en relief les périodes en surcharge ou en sous charge. Dans les deux cas, il s'agit d'ajuster, soit la capacité, soit la charge selon les priorités.

Exemple :

Charge d'un centre de production pour les périodes 6 à 10

Périodes	Ordres lancés	Ordres planifiés	Total charge
6	6 h	54 h	60 h
7	8 h	57 h	65 h
8	4 h	53 h	57 h
9	5 h	50 h	55 h
10	2 h	56 h	58 h

Le graphique (figure 1.8), montre l'ensemble des charges obtenues par les ordres lancés et planifiés ainsi que la capacité disponible ; on le nomme profil de charge.

Si la capacité disponible calculée est de 63 heures, on peut envisager de transférer les 2 heures de surcharge, de la période 7 sur la période 6, en décalant un ou plusieurs ordres de fabrication (OF).

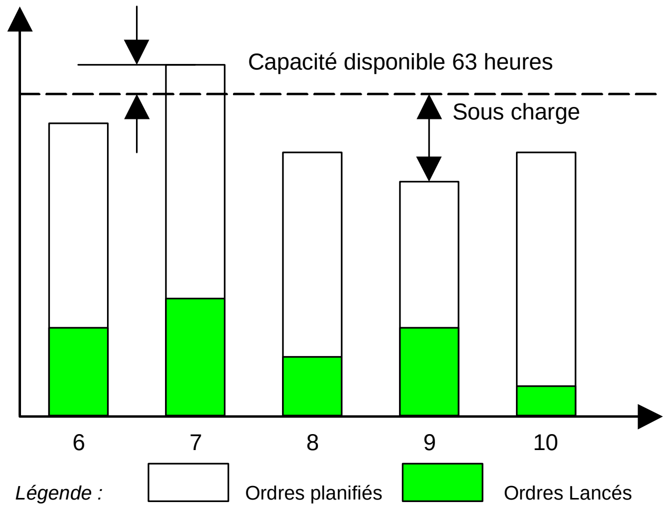


Figure 1.8 Profil de charge du centre de production

1.6 Pilotage d'atelier

1.6.1 Définition

Le pilotage d'atelier est responsable de l'exécution des OF issus des PDP et du calcul des besoins.

Ses objectifs consistent à :

– réaliser les quantités et la qualité demandées,

– assurer la date exigée (taux de service client satisfaisant),

– optimiser l'utilisation des centres de charge,

– minimiser les stocks d'en-cours.

Il s'agit de respecter les priorités, d'équilibrer la production et d'utiliser d'une manière optimale l'outil de production.

Le pilotage d'atelier utilise deux outils de gestion de la capacité à très court terme :

– le séquencement des OF et des opérations,

– le contrôle des entrées et des sorties.

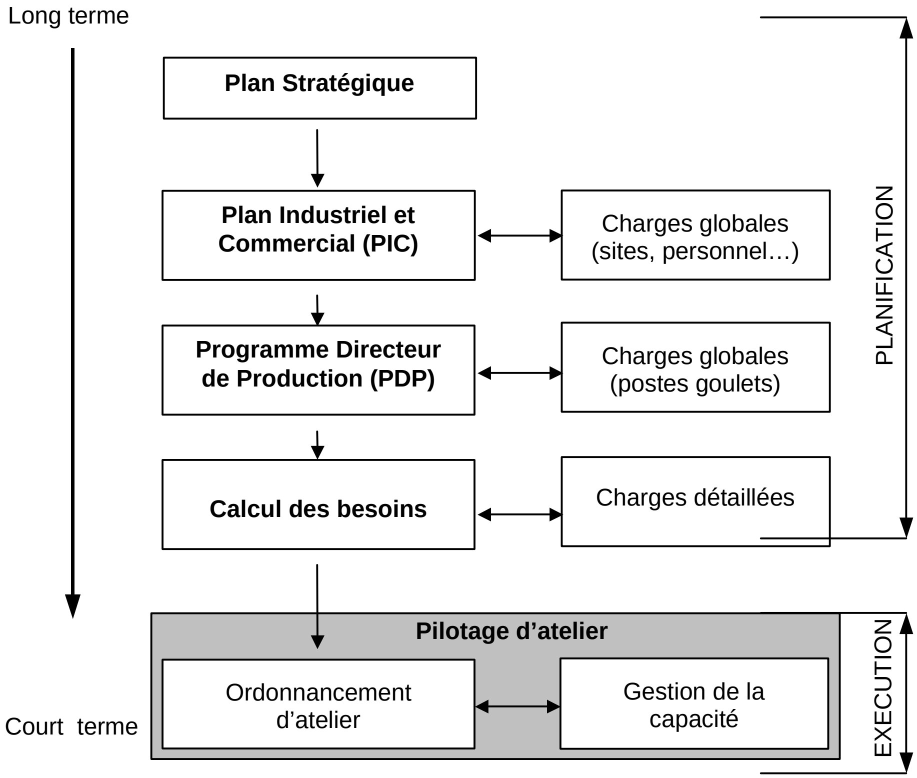


Figure 1.9 Le pilotage d'atelier

1.6.2 Délai de fabrication

C'est la durée nécessaire pour la fabrication d'un article. Ce délai est composé de différentes composantes, (figure 1.10) :

- La **file d'attente** est la durée d'attente devant une machine, avant que l'opération commence.
- Le **temps de changement d'outillage** (ou temps de préparation) est la durée nécessaire pour équiper une machine lors d'une nouvelle opération.
- Le **temps d'exécution** est le temps standard prévu pour réaliser une ou plusieurs opérations.
- Le **temps d'attente** est la durée d'attente du lot de pièces traitées à un poste donné avant d'être transféré au poste suivant.

– Le **temps de transfert** est la durée de déplacement d'un lot vers la machine suivante.

File d'attente	Temps de changement	Temps d'exécution	Temps d'attente	Temps de transfert

Figure 1.10 Composantes du délai de fabrication

De toutes ces composantes, c'est la file d'attente qui est la plus importante (80 à 95 % du délai total) dans le cas d'un atelier polyvalent (organisation *job shop*). Pour une opération, le délai de fabrication est la somme des différents temps. Pour un OF, le délai de fabrication correspond à la somme des délais par opération.

1.6.3 Séquencement des ordres de fabrication et des opérations

- **Les techniques d'ordonnancement**

– Le **jalonnement aval** est une technique qui planifie les OF à partir de leur date de début. La date de fin s'obtient en ajoutant le délai de fabrication à la date de début de l'OF. Cette technique revient à caler les opérations au plus tôt (figure 1.11).

– Le **jalonnement amont** est l'inverse : on part de la date d'exigibilité de l'OF (date de fin), puis on remonte dans le temps en positionnant toutes les opérations afin d'obtenir la date de début de l'OF. Cette technique revient à caler les opérations au plus tard (figure 1.11).

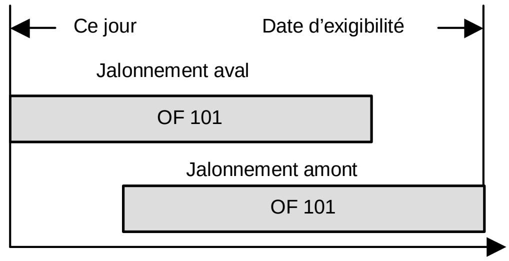


Figure 1.11 Jalonnements aval et amont

– Le **chevauchement** est une technique qui consiste à transférer au poste aval, une partie du lot réalisé (lot de transfert) sur un poste amont sans attendre que l'opération soit terminée pour le lot tout entier (lot de fabrication). Cette technique permet de réduire le délai de fabrication de l'ensemble des opérations d'un OF donné (figure 1.12).

X = lot de transfert ; Y = chevauchement ; TP = temps de préparation

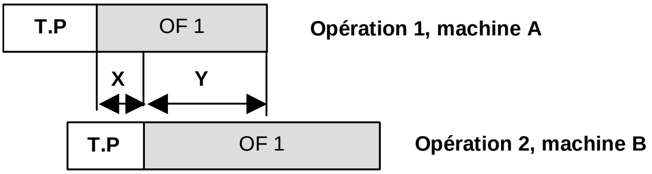


Figure 112 Chevauchement des opérations d'un OF

– **Le fractionnement de lot** est une technique qui consiste à diviser un lot en deux lots ou plus afin de les produire simultanément sur deux ou plusieurs machines (figure 1.13). Cette technique est valable si le temps de préparation est très faible par rapport au temps opératoire du lot et s'il existe une ou plusieurs machines identiques et disponibles.

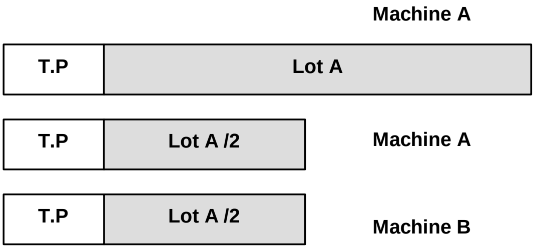


Figure 1.13 Fractionnement de lot

– **La gamme de remplacement** est généralement moins utilisée que la gamme principale, mais elle permet de résoudre les problèmes de surcharge en utilisant d'autres postes, tout en garantissant la même qualité de fabrication de l'article.

– **L'opération de remplacement** repose sur le même principe que la gamme de remplacement, mais se limite à une opération.

- **Les règles de priorité d'ordonnancement**

L'objectif de l'ordonnancement est de déterminer le séquencement des différents ordres de fabrication en tenant compte des délais, des dates d'exigibilité, de la disponibilité des ressources et de toutes les informations complémentaires. Il fixe les dates (de début et de fin) des ordres de fabrication.

Le contrôle des OF sur les différents centres de charge consiste à mettre en place un système de gestion des priorités et des capacités, afin de fixer un ordre de passage de ces OF.

Le dispositif couramment utilisé est la feuille de lancement. qui donne la liste des OF classés par ordre de priorité sur les centres de charge. Elle est communiquée au responsable d'atelier et comprend des informations sur les priorités, les quantités, la localisation dans l'atelier et la charge (heures standards) par opération pour chaque ordre de fabrication.

Selon le type de priorité fixé (par exemple : réduction des en-cours, augmentation du nombre d'OF réalisés, minimisation du nombre d'OF en retard, amélioration du service client…), plusieurs règles d'ordonnancement peuvent être utilisées, telles que :

– **Premier entré, premier sorti (PEPS)**

  Appelé aussi FIFO (*First In First Out*), la priorité est donnée aux OF dans l'ordre d'arrivée à l'atelier.

– **Dernier arrivé, premier sorti (DEDS)**

  Appelé aussi LIFO (*Last In First Out*), la priorité est donnée aux OF arrivés en dernier.

– **Date d'exigibilité de l'OF au plus tôt (DEOF)**

  La priorité est donnée aux dates d'exigibilité des OF les plus proches de la date actuelle.

– **Date d'exigibilité de l'opération au plus tôt (DEOP)**

  C'est la même règle que précédemment, mais en tenant compte des opérations et non des OF.

– **Temps d'exécution le plus court (TEC)**

  On classe les OF par ordre croissant des temps d'exécution en favorisant les OF aux faibles temps d'exécution, en conséquence : les OF très longs sont retardés.

– **Temps de la marge croissante par OF (TMC)**

  On calcule la marge restante par OF (temps restant entre la date actuelle et la date d'exigibilité). Les OF sont classés suivant les marges par ordre croissant.

– **Temps de la marge moyenne croissante par opération (TMMC)**

  On calcule la marge restante par OF (temps restant entre la date actuelle et la date d'exigibilité) que l'on divise par le nombre d'opérations restant : c'est la marge moyenne par opération. Les OF sont classés suivant ces marges moyennes par ordre croissant.

– **Ratio critique (RC)**

On calcule le ratio entre le temps restant (durée entre la date actuelle et la date d'exigibilité) et le temps opératoire restant. Cette règle classe les OF suivant le ratio par ordre croissant.

Exemple :

À partir des données suivantes et des règles précédentes, on obtient le classement des OF suivant.

La date actuelle est le 4e jour du mois (J 4).

OF	Temps opératoire	Date d'arrivée	Date d'exigibilité de l'OF	Date d'exigibilité de la 1re opération	Nombre d'opérations
11	13 jours	J 12	J 21	J 15	3
12	9 jours	J 7	J 20	J 16	5
13	7 jours	J 6	J 13	J 8	2
14	8 jours	J 13	J 15	J 10	2

Règles utilisées	Ordre des Ordres de Fabrication (OF)
PEPS	OF13, OF12, OF11, OF14
DEDS	OF14, OF11, OF12, OF13
DEOF	OF13, OF14, OF12, OF11
DEOP	OF13, OF14, OF11, OF12
TEC	OF13, OF14, OF12, OF11
TMC	OF13, OF14, OF12, OF11
TMMC	OF12, OF13, OF14, 0F11
RC	OF13, OF11, OF14, OF12

Explications pour l'OF11 :

PEPS : date d'arrivée de l'OF11 (J 12) < OF14 (J 13).

DEDS : OF11 sera placé après OF14 (inverse de la règle PEPS).

DEOF : date d'exigibilité OF11 (J 21) la plus éloignée, donc en quatrième position.

DEOP : date d'exigibilité des opérations de l'OF11 au plus tôt (J 15) en troisième position.

TEC : temps opératoire OF (11) (13 jours), le plus long donc en quatrième position.

TMC : marge de l'OF11 = J 21 – J4 = 17 jours, donc en dernière position (marge la plus longue).

TMMC : on divise la marge (17) par le nombre d'opérations (3), TMMC = 17/3 = 5,6, donc en dernière position.

RC : temps restant de l'OF11 = J 21 – J4 = 17 jours. Ratio critique = 17j/13j = 1,30, donc en deuxième position.

1.6.4 Gestion des entrées/sorties

L'objectif est de piloter l'en-cours par la maîtrise des entrées et des sorties.

Il s'agit :

– de suivre les entrées et les sorties par centre de charge en vue d'identifier les files d'attente et les retards,

– d'apporter des actions correctives cohérentes avec le niveau d'en-cours désiré.

L'idée consiste à ne lancer dans le système que des volumes compatibles avec son niveau de sortie et l'objectif d'en-cours visé.

C'est également un outil puissant pour maîtriser les cycles, afin de les réduire constamment.

Pour mesurer cet écart on applique la formule suivante :

Écart cumulé =
écart cumulé de la période (n) + OF planifiés de la période (n + 1)
– OF réalisés de la période (n + 1)

Ce qui permet de suivre l'évolution des ordres de fabrication à chaque centre de charge.

Exemple de contrôle des OF planifiés et réalisés sur un centre de charge (figure 1.14).

Période	**1**	**2**	**3**	**Total**
OF planifiés en entrée de la machine	18	12	15	45
OF réellement engagés dans la machine	14	10	17	41
Écart cumulé entre les OF planifiés et réalisés en entrée	– 4	– 6	– 4	– 4
OF planifiés en sortie de la machine	20	12	12	44
OF réellement réalisés en sortie de la machine	16	13	15	44
Écart cumulé entre les OF planifiés et réalisés en sortie	– 4	– 3	0	0
En cours prévisionnel 10	8	8	11	
En cours réel 10	8	5	7	

Ce que j'avais planifié :
10 + 18 – 20 = 8

Ce que je réalise réellement :
8 + 10 –13 = 5

Figure 1.14 Contrôle des OF planifiés et réalisés

2
Évolutions du système MRP2

2.1 Introduction au *Supply Chain Management*

2.1.1 Définition

Le *Supply Chain Management* (SCM) ou « gestion de la chaîne logistique » a pour mission d’anticiper, de piloter et de gérer de façon globale les flux physiques, décisionnels et d’information dans l’entreprise.

Cette gestion va de l’acquisition du moindre composant des fournisseurs jusqu’à la mise en main des produits finis chez le client dans un objectif d’optimisation des différents services de l’entreprise.

L’apparition de l’expression *Supply Chain management* vient d’une évolution marquante du monde industriel de ces dernières années.

Les deux raisons principales sont :

– d’une part l’augmentation des achats pour une entreprise (plus de 80 % du coût du produit fini dans de nombreux secteurs industriels), et

– d’autre part, les gains substantiels obtenus grâce à une meilleure intégration des différents acteurs de la chaîne logistique.

Toutes les activités et tous les processus de l’entreprise sont concernés.

Certains auteurs parlent de maîtrise de la chaîne logistique[15] globale. Les objectifs de la SCM visent à automatiser et à optimiser les processus de passage d'une étape à une autre de cette chaîne.

Le *Supply Chain Management* doit définir :

– la meilleure prévision des ventes possibles de produits,
– les quantités à stocker à l'intérieur des entrepôts,
– les quantités à produire dans chaque usine,
– les quantités à approvisionner auprès des différents fournisseurs,
– les quantités à distribuer auprès des clients.

Quatre flux composent cette chaîne logistique :

– celui des fournisseurs vers la distribution : c'est le flux physique des produits et/ou des services,
– celui du client vers les fournisseurs : c'est le flux d'information et de la demande,
– Celui des circuits financiers entre les différents composants de la cahine logistique,
– Eventuellement celui des « retours » de produits ou des éléments pour des problèmes de qualité.

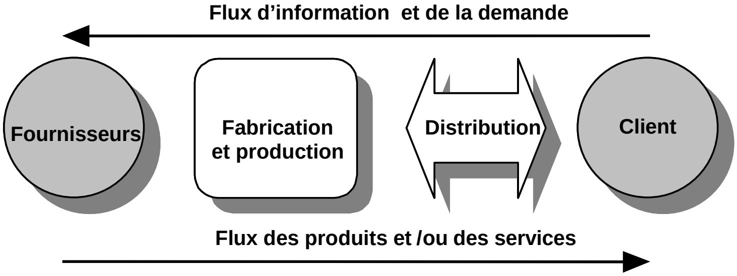


Figure 2.1 Le *Supply Chain Management* (SCM)

Le système MRP2, décrit au chapitre 1, s'inscrit pleinement dans la logique de la *Supply Chain Management*.

---

15 Pour Raymond Biteau (*Maîtriser les flux industriels*, Éditions d'Organisation 1998), la logistique, prise dans son acception la plus large, a principalement pour mission de maîtriser et d'optimiser les flux physiques, depuis les fournisseurs jusqu'aux clients de l'entreprise.

La SCM se décompose généralement en trois parties :

– La **SCP** (*Supply Chain Planning*) qui assure la prévision et le planning.
– La **SCEM** (*Supply Chain Event Management*) qui permet le pilotage de la chaîne logistique suivant les événements du terrain.
– La **SCE** (*Supply Chain Execution*) qui gère les moyens.

2.1.2 Moyens d'actions

L'objectif global de la *Supply Chain Management* est d'obtenir le meilleur profit, la recherche de rentabilité et le succès durable de l'entreprise[16].

Cela suppose :

– de réduire la complexité des produits par une recherche de composants standards,
– de contractualiser les relations avec les fournisseurs et les sous-traitants,
– de développer les outils comme l'Internet et l'e-commerce,
– de prévoir les ventes clients et les plans de production,
– d'améliorer le service client et l'administration des ventes,
– d'améliorer la logistique entre les usines, les entrepôts et la distribution chez le client,
– d'améliorer la communication entre toutes les fonctions de l'entreprise ou du groupe (les ERP[17], pour *Enterprise Resource Planning,* qui s'appuient sur un principe fondamental de référentiel unique de données, peuvent être une réponse),
– de mieux maîtriser les prévisions pour réduire les stocks afin d'assurer un taux de service maximal,
– de fournir le meilleur service client,
– d'optimiser les coûts de conception, de production, de stockage, d'approvisionnement et de distribution des produits.

---

16 *Cf.* l'ouvrage *Introduction to Materials Managemenrt* de J.R. Tony Arnold, Pearson International, 2007.

17 Pour Jean-Louis Lequeux, dans son ouvrage *Manager avec les ERP* aux Éditions d'Organisation, 1999, le système ERP prend en charge la gestion intégrale de l'entreprise, incluant la gestion des ressources humaines, la gestion comptable et financière, la gestion administrative, la gestion des ventes, la gestion des achats, la gestion de la production et la gestion de la logistique.

2.1.3 Activités de la SCM

Les principales activités de la *Supply Chain Management* sont de gérer :

- la demande client et le management de la distribution,
- les achats et le management des fournisseurs et sous-traitants,
- les activités de transformation et de production des produits ; plusieurs entreprises sont reliées entre elles dans le cadre du concept SCM,
- l'ensemble des stocks de l'entreprise visant le meilleur service client.

2.2 Le système ERP

2.2.1 Définition

Au cours de ces dernières années, le progrès de l'informatique a permis progressivement de développer des logiciels prenant en compte la gestion de la production en utilisant les principes du MRP1, puis du MRP2. Afin d'augmenter sans cesse la productivité et de réduire les cycles de mise sur le marché des produits et des services, la gestion de production a évolué et donné naissance au système ERP (*Enterprise Resource Planning*).

Aujourd'hui appelé ERM (*Enterprise Resources Management*), ce système est une généralisation du MRP2 (*Manufacturing Resource Planning*) dont l'objectif est de prendre en compte toutes les fonctions de l'entreprise :

- la gestion des ressources humaines,
- la gestion comptable et financière,
- la gestion comptable et administrative,
- la gestion des achats et logistique, et enfin
- la gestion industrielle (figure 2.2).

Le système ERP ou progiciel de gestion intégrée (solution informatique appliquée au concept de *Supply Chain Management*) couvre l'ensemble des processus de l'organisation de l'entreprise. Il est à la fois générique pour répondre aux besoins de plusieurs clients et spécifique pour répondre aux activités métier.

Le système ERP couvre également d'autres concepts récents comme : le *Customer Relationship Management* (CRM), le *Manufacturing Engineering System* (MES), le *Distribution Resource Planning* (DRP), le *Product Process Management* (PPM), en s'appuyant sur un système informatique de base de données informatiques (SIBD) (figure 2.3).

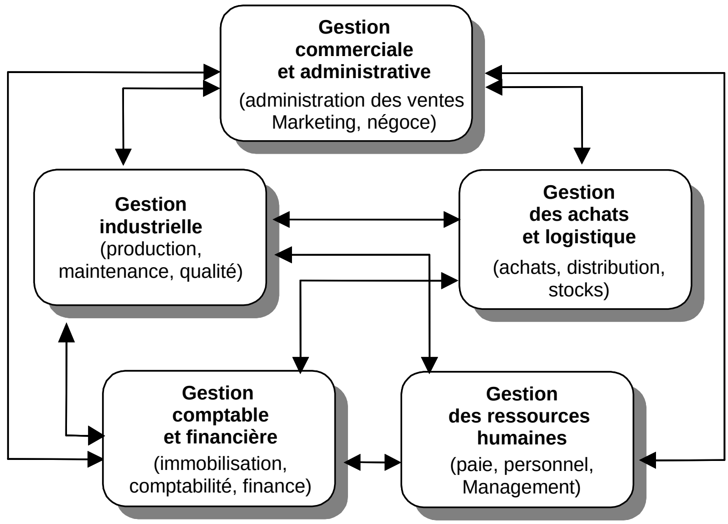


Figure 2.2 Les différentes fonctions de l'ERP

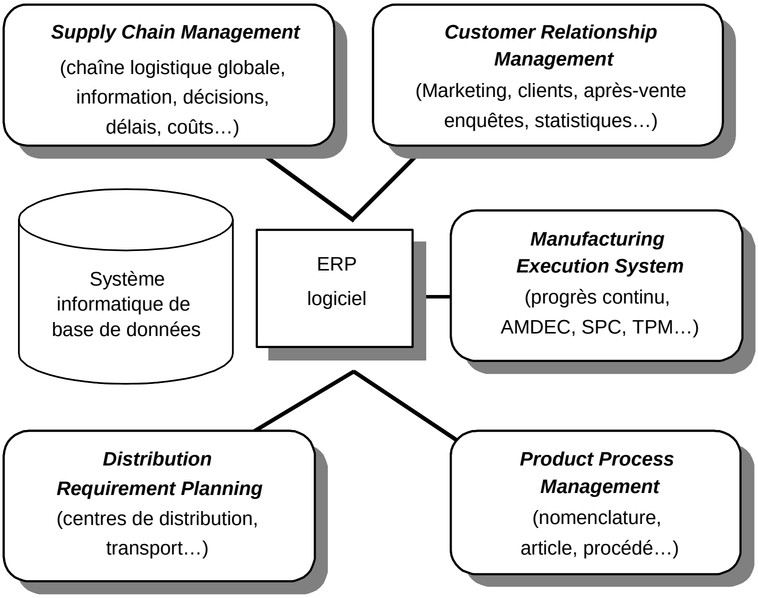


Figure 2.3 Place d'un ERP dans l'entreprise

2.2.2 Principe

Un ERP s'inscrit dans un projet d'informatisation de l'entreprise en proposant une architecture modulaire (ventes, achats, qualité, fabrication, comptabilité, distribution…) et adaptable, prenant en compte le métier de l'entreprise (processus, réglementations, procédures…). Quel que soit le contexte de l'implantation, l'ERP est constitué d'un ensemble de modules spécifiques paramétrables couvrant les grandes fonctions de l'entreprise en passant par un système informatique de gestion de bases de données unique. Lorsqu'une information est entrée dans cette base de données, elle est ensuite accessible à l'ensemble des modules du système.

Les principales caractéristiques d'un ERP sont :

- son degré d'adaptation qui prend en compte l'organisation de l'entreprise, ses règles, ses logiciels, sa réglementation et ses pratiques : l'ERP est paramétrable,
- sa capacité d'uniformisation des interfaces avec les autres applications informatiques ou d'autres documents,
- sa robustesse dans le traitement des données : même traitement, même résultat,
- sa capacité à réaliser des analyses financières (*reporting*) facilitant les comparaisons intersites (structure de données identique).
- son degré d'évolution dans le temps, afin de rendre pérenne le système.

En résumé l'architecture d'un ERP prend en compte tous les modules de gestion de l'entreprise et peut être schématisée selon la figure 2.4.

Remarque : Suivant les offres ERP, les logiciels couvrent plus ou moins différents domaines, ce qui les différencie entre eux sur le marché.

2.2.3 Mise en œuvre d'un projet ERP

La mise en place d'un ERP est généralement longue et coûteuse, ce qui entraîne une logique de gestion et de management de projet lors de son implantation.

Il est courant de constater que malgré la richesse fonctionnelle d'un ERP, ce dernier n'est jamais utilisé à 100 % par l'entreprise, du fait de sa standardisation trop forte. Il doit être adapté aux spécificités de l'entreprise. Dans ce contexte, les logiciels spécialisés par type de marchés se développent de plus en plus.

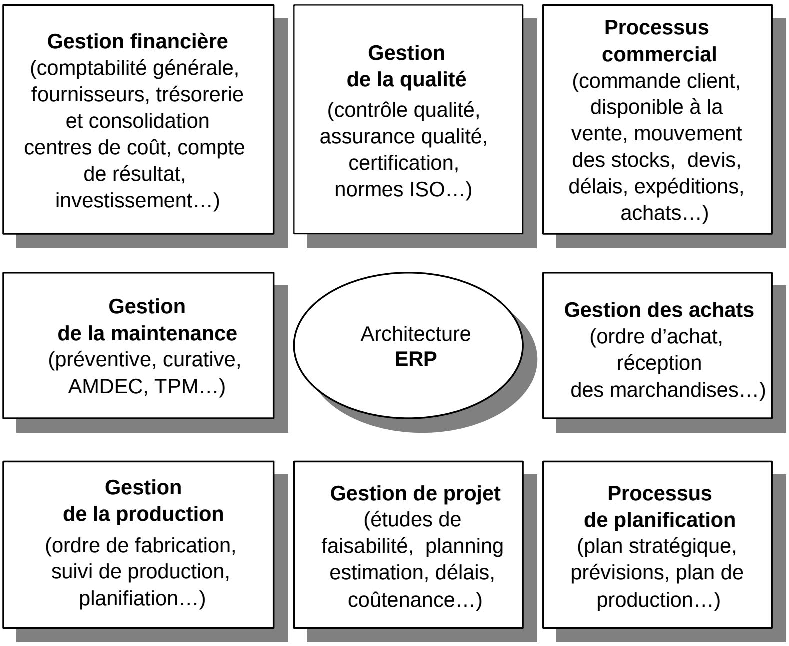


Figure 2.4 Exemple d'architecture d'un ERP

Leur couverture fonctionnelle est limitée au cœur de métier des entreprises. Il s'agit donc de définir les objectifs réels de l'entreprise et de son organisation.

Les grandes phases ou étapes de la mise en œuvre d'un système ERP sont généralement les suivantes :

– Élaborer un **projet stratégique d'entreprise**, présenté et décidé par le top management ou la direction. Après avoir recensé les besoins de l'entreprise et explicité les fonctions concernées, les contraintes financières, techniques et humaines, les objectifs à atteindre et les échéanciers à respecter, le projet d'ERP est porté et expliqué aux collaborateurs et utilisateurs.

– Prévoir une **organisation stricte** et **une équipe dédiée** bien préparée et motivée, et un chef de projet compétent. Il s'agit de préparer la conduite au changement.

– Élaborer un **budget** pour l'investissement, mais aussi pour le fonctionnement. Entre 1 à 2 % du chiffre d'affaires pour la solution informatique, sans oublier les frais de conseils, services, interfaces, formation…

- Réaliser un **cahier des charges** décrivant les spécifications fonctionnelles. C'est un document contractuel précis qui devra être respecté et qui facilite la comparaison des offres de logiciel.
- Lancer un **appel d'offres** suffisamment large, sélectionner les produits correspondant au cahier des charges et choisir le logiciel intégré à partir d'analyse multicritère (par exemple : faire jouer la concurrence).
- Prévoir et mettre en œuvre un **plan de formation** pour les utilisateurs du système logiciel.

Pour réussir un ERP, il est indispensable que la direction et les futurs utilisateurs soient impliqués dans la décision de mise en œuvre. Pour cela, la communication et la formation sont des pré-requis. Afin d'éviter tout problème, les collaborateurs doivent être formés, leur expérience et connaissance capitalisées[18]. Il faut éviter le *turnover* des employés qui peut nuire au bon fonctionnement du système.

La durée de la mise en œuvre varie de 6 mois à 2 ans. Elle dépend de la taille de l'entreprise, du nombre de sites et d'utilisateurs, du domaine fonctionnel…

2.2.4 Avantages des ERP

L'utilisation d'un ERP permet de bénéficier d'un système unique où les informations sont entrées une fois et partagées par tous les modules.

En effet, sans système d'ERP, une organisation peut se trouver en possession de nombreuses applications spécifiques qui ne « communiquent pas » entre elles et ne se connectent pas efficacement ou nécessitent de nombreuses interfaces.

Cela requiert l'unicité du format de l'information et la disponibilité de celle-ci en temps réel à tous les niveaux de l'entreprise.

Toutes les données sont regroupées dans une seule et même base et peuvent servir à tous les domaines de l'entreprise. Enfin, la circulation de ces informations et de ces données permet une prise décision rapide.

---

[18] *Cf.* l'ouvrage *Retour et capitalisation d'expérience. Outils et démarches,* Éditions Afnor, collectif d'auteur sous la direction de Jean Renaud, 2008.

2.2.5 Inconvénients et risques des ERP

La première limite d'un système de type d'ERP tient à son coût d'achat, d'installation et de mise à jour/maintenance. Une fois l'éditeur d'ERP sélectionné, l'organisation risque d'être « enchaînée » à ce dernier.

Une autre limite est le fait qu'adapter un ERP aux processus spécifiques de l'entreprise peut être très cher et compliqué. Généralement, les ERP ne sont pas conçus pour s'adapter à une entreprise particulière. Cela suppose disposer d'une enveloppe financière suffisante pour pouvoir engager des développements informatiques onéreux. Au-delà des paramétrages de base, il convient donc d'adapter les processus de l'entreprise à l'outil.

L'appropriation difficile de l'ERP par le personnel, le niveau de formation nécessaire, la maintenance soutenue et conséquente du système ainsi que sa lourdeur et sa rigidité de mise en œuvre sont autant de difficultés à surmonter lors de la mise en œuvre des ERP.

2.2.6 Logiciels ERP

Une dizaine d'éditeurs, pour la plupart modulaires, couvrent le marché français. Parmi les logiciels les plus vendus, le **système SAP** (*System, Applications, Products in data processing*), est devenu le leader du marché, soit le 1/3 des parts du marché mondial. Les modules SAP (SD Ventes, MM Achats-Stocks, PP production…) ont été adaptés au client/ serveur sous Unix, puis sous AS400 et sont commercialisés sous le nom de R3. La base de données peut s'effectuer sous Oracle, SQL Server, DB3, Open source… Après avoir doté de nombreuses très grandes entreprises ou des groupes, l'offre de SAP s'étend aujourd'hui vers différents métiers .

D'autres logiciels sont proposés sur le marché en direction des petites et moyennes entreprises depuis le début des années 80, tels que :

– **ADONIX X3** qui ne se vend pas sous forme de modules mais en bloc, avec paramétrage des parties qui intéressent le client. Sa couverture fonctionnelle s'étend de la gestion financière à celle des ventes et de la relation client, en passant par la gestion des achats, des stocks et de la production. Les principales caractéristiques d'Adonix X3 sont : marketing, chaîne logistique, finance et comptabilité, ressources humaines, gestion de projet, pilotage décisionnel et services… Adonix est un ERP rapide à mettre en œuvre, simple d'utilisation, et son architecture web permet de réduire l'infrastructure informatique au minimum.

- **Oracle Applications**, dont le rôle est de gérer, partager, protéger et utiliser l'information. Oracle Applications propose une nouvelle génération de plate-forme informatique d'entreprise.
- La solution **Sage** offre un progiciel intégré, présent sur le marché européen en direction des entreprises entre 100 et 2 000 salariés.
- ***Cegid Business***, développé par la société G^{3C} Conseils Logic Informatique, propose une solution complète à destination des PME-PMI. Les modules couverts sont : gestion comptable et financière, trésorerie des immobilisations, paie et ressources humaines, commerciales, CRM et des affaires. Ces produits ERP sont à destination des PME ou des entreprises de taille plus importante.

2.2.7 Conclusion

Après un temps d'euphorie avec des années records pour la mise en place des systèmes ERP, aujourd'hui les entreprises sont moins enthousiastes. Les causes sont multiples, mais les plus importantes sont le coût et la durée trop longue de mise en place provoquant un retour d'investissement parfois éloigné des espérances de départ. Cela explique que certaines entreprises hésitent à investir dans de tels systèmes.

2.3 Le système DRP

2.3.1 Définition

L'objectif de toute entreprise manufacturière est de se rapprocher au plus près des besoins de ses clients afin d'améliorer sa réactivité dans la livraison des produits. L'intégration de plateformes, entrepôts, dépôts de vente, centres de distribution, magasins…, dans la chaîne de la distribution, permet d'atteindre cet objectif en « captant » les informations au plus près des clients : c'est le système DRP (*Distribution Requirement Planning*).

Le DRP consiste à calculer « en permanence » les besoins en approvisionnement du réseau de distribution. Il s'agit de collecter les prévisions de ventes et d'en déduire les besoins en approvisionnements nécessaires aux entrepôts pour répondre à ces prévisions. Ainsi, DRP est un processus de gestion en cascade qui détermine les besoins des localisations de stocks (points de vente) et qui garantit que les sources d'approvisionnement pourront répondre à la demande. Il doit prendre en compte l'ensemble des contraintes de la chaîne logistique (délais d'approvisionnement, quantités de manutention minimum, capacité des stocks, capacité de production…).

Avec le système MRP, la demande indépendante au niveau des PDP (programme directeur de production) est obtenue par les prévisions. Le DRP permet de déplacer cette demande vers l'aval de la chaîne logistique au plus près des clients (points de vente). Ainsi les PDP sont assimilables à une demande dépendante, calculée à partir de la demande indépendante transmise par les points de ventes. Le système est donc encore plus réactif et cerne mieux le besoin des clients (figure 2.5).

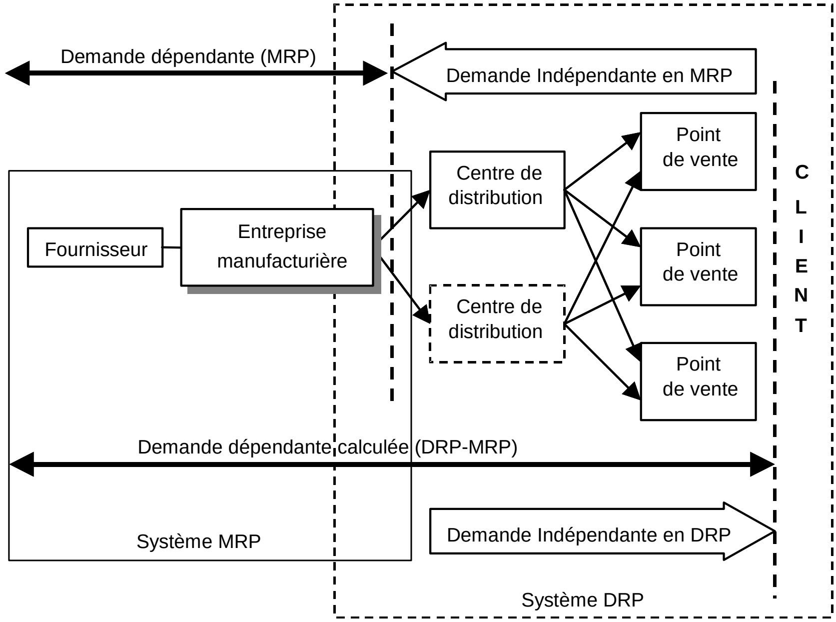


Figure 2.5 Exemple d'architecture d'un DRP

2.3.2 Principe du DRP

Le principe du DRP s'appuie sur une démarche similaire à celle du calcul de besoins de la méthode MRP. Les prévisions planifiées dans les dépôts de vente sont, par le processus d'explosion, transformés en besoins bruts, puis en besoins nets pour leurs sources d'approvisionnement. S'il existe plusieurs niveaux de distribution, l'explosion des besoins se propage de niveau en niveau à partir des dépôts régionaux et locaux, unités de production… Chaque point de vente garde son indépendance : stock de sécurité, délai d'approvisionnement, quantité commandée.

- **Exemple**

Soit deux points de vente, Nice et Tours. Les lots de livraison sont de 50 et les stocks de départ sont de 40 et 60. Le centre d'approvisionnement dispose d'un stock prévisionnel de départ de 100 (figure 2.6).

	Point de vente : Nice				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
Prévisions	20	40		10	
En transit		20			
Stock prévisionnel 40	20	0	0	40	40
Livraison fin début		50		50	

	Point de vente : Tours				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
Prévisions	30		50	40	10
En transit					
Stock prévisionnel 60	30	30	30	40	30
Livraison fin début	50	50	50	50	

Centre de distribution	Récapitulatif				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
Prévisions vente En transit	50	100	0	0	0+
Stocks prévisionnels 100	50	50	50	50	50
Livraison planifiée fin Livraison planifiée début	 100	100			

Figure 2.6 Décomposition des besoins selon le DRP

- **Position du stock de sécurité**

Le stock de sécurité couvre les variations de la demande indépendante. Traditionnellement, il se situe donc au plus près des clients (points de vente dans l'exemple précédent), ce qui engendre un stock important. Une solution alternative consiste à placer ce stock au niveau du centre d'approvisionnement en intégrant un service rapide et réactif de livraison.

Si on dispose de « n » points de vente et que le stock de sécurité est identique dans chaque point de vente, et si les stocks de sécurité sont transférés des points de vente au centre d'approvisionnement, le stock de sécurité de ce dernier sera égal à $\sqrt{\mathbf{n}}.\ \mathbf{Ss_i}$ (stock de sécurité d'un point de vente i). Cette approche garantit le même taux de service client.

Application numérique

Soit 9 points de vente disposant chacun d'un stock de sécurité de 30 articles, soit un stock total de 9.30 = 270 articles. Le stock de sécurité placé au centre d'approvisionnement serait de : $\sqrt{9}.30 = 90$ articles. Le gain en stock à taux de service identique est donc de 270 – 90 = 180 articles.

2.3.3 Réseaux de distribution

Mettre en place un système DRP, c'est implanter des centres de distribution, des magasins d'assemblage ou d'entrepôts afin de satisfaire le client. Plusieurs approches de réseaux sont possibles, selon le type de transport des produits, pièces, éléments de produits. Lors de la construction du réseau, la problématique consiste à être le plus réactif vis-à-vis du client tout en optimisant les coûts de transport. Ainsi, on peut implanter un centre de distribution unique national avec des transports importants ou intercaler des plateformes régionales qui réduiront les distances avec les clients finaux.

Par exemple : si on dispose de trois entreprises fournissant chacune trois mêmes clients, cela fera au total neuf transports. Si on intercale un centre d'approvisionnement qui recevra toutes les marchandises des trois entreprises, pour alimenter les mêmes clients, alors le nombre de transports ne sera plus que de six (figure 2.7).

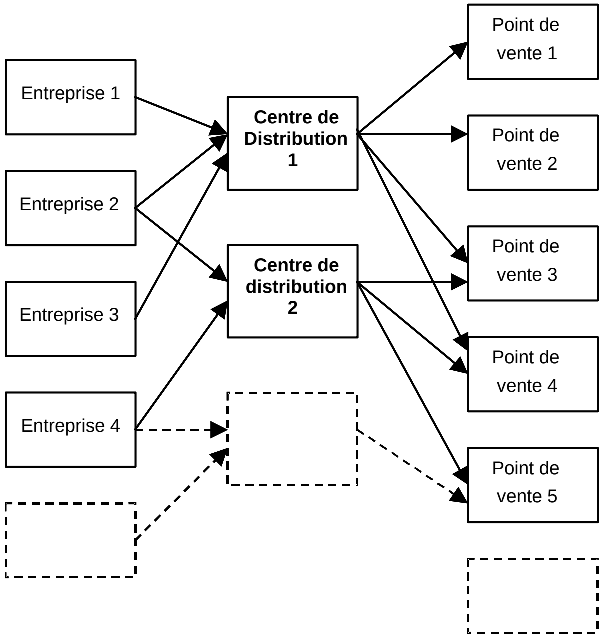


Figure 2.7 Réseau de distribution

Le centre de distribution peut également réaliser des assemblages ou des conditionnements à partir des pièces différentes livrées par des fournisseurs parfois éloignés.

Le centre de distribution étant positionné au plus près des clients, le transport des fournisseurs au centre d'assemblage se fait par camion à forte capacité et le transport chez le client se fait par camionnette. Exemple : lots de jouets, outillages, livraison à domicile… (figure 2.8).

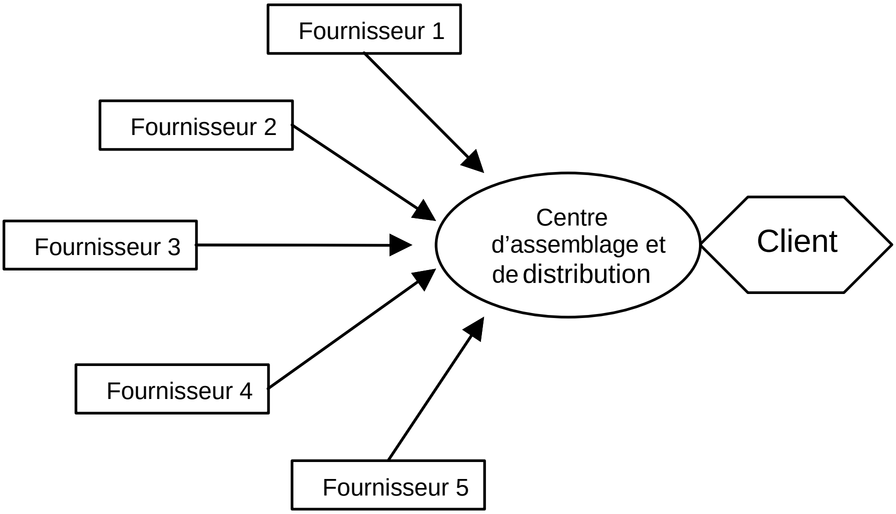


Figure 2.8. Variante de réseau de distribution

En règle générale, on peut imaginer plusieurs entrepôts (stocker un certain temps la marchandise) et/ou des plateformes (transborder les produits après tri sur d'autres moyens de transport) et/ou des centres de distribution pour constituer des réseaux de distribution…

Cette mise en réseau dépend :

– du nombre de clients, de leur situation géographique (difficulté d'accès, proximité ou éloignement)…,

– de la taille, la fréquence, la variété, le volume des marchandises transportées…,

– du nombre et de la localisation des entreprises, centres de production ou de distribution,

– du type de transport, de manutention, de stockage…

Dans tous les cas, le réseau à construire doit rechercher le meilleur service client au moindre coût.

2.3.4 Choix de la localisation des centres de distribution

Localisation d'un centre de distribution parmi plusieurs fournisseurs

La méthode du barycentre est privilégiée. Chaque point de production est affecté de coordonnées et d'un poids correspondant au volume moyen annuel de produits livrés. Si cette méthode est simple et rapide, elle est à utiliser avec précaution, car :

– les réseaux routiers sont différents d'un endroit à un autre,

– le coût du transport n'est pas proportionnel à la distance, il dépend des coûts de manutention, de stockage, d'accès sur les quais, du coût du personnel qualifié d'une région à une autre…

Localisation d'un centre de distribution entre deux fournisseurs

Généralement, l'entreprise expédie ses produits dans des centres de distribution sous certaines conditions (produits en vrac), qui eux-mêmes assemblent et expédient les produits montés aux clients. Les coûts de transport, de manutention et les charges fixes sont différents. Il s'agit de situer à quelle distance doit se trouver le centre de distribution des fournisseurs.

Cette localisation devra prendre en compte les coûts du produit, de manutention, de stockage dans les entrepôts, de transport, et la distance entre le centre de distribution et les fournisseurs.

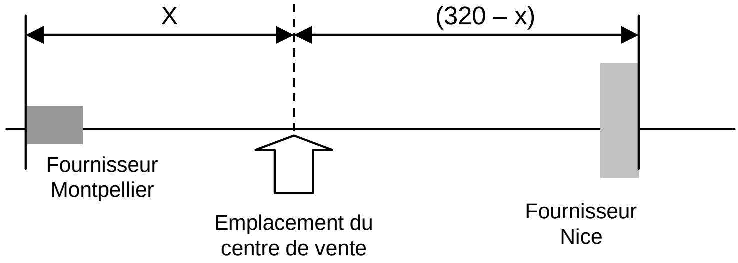
Quel que soit le moyen de transport (bateau, *pipeline*, camion…), le coût du transport des produits correspond à la somme du coût des charges fixes, du coût de manutention, du coût de stockage et du coût du transport. Soit :

$$C_{transp.} = C_{chF} + C_{stockage} + C_{manu.} + C_{uni.} . Y$$

Y étant le nombre de produits transportés et C_{uni} correspondant au coût unitaire du transport.

Exemple :

Soit un fournisseur localisé à Montpellier devant fournir régulièrement 1 000 produits A en vrac à un centre de distribution et un autre fournisseur situé à Nice, livrant au même centre de distribution 1 200 produits B. Les coûts de transport de Montpellier au centre de distribution sont de 50 €/km par produit et 40 €/km de Nice au centre de distribution. Le coût de manutention des pièces fournies est de 10 €/pièce sur le site de Montpellier et de 15 €/pièce pour celui de Nice. La distance entre le site de Nice et celui de Montpellier est de 320 km. Les charges fixes et les coûts de stockage sont supposés identiques.



Résultats

1 000. 10 + X. 50 = 1 200. 15 + 40 (320-X)

10 000 + 50X = 18 000 + 12 800 – 40X

90X = 20 800

soit X = 231 km, le centre de distribution se situerait idéalement à 89 km de Nice

3
Gestion des prévisions et des stocks

3.1 Les prévisions

3.1.1 Objectifs

Avec des délais clients de plus en plus courts, l'entreprise est contrainte de faire des prévisions.

Sans attendre l'ultime limite des commandes, il est nécessaire d'anticiper la demande et les besoins.

Ces prévisions jouent un rôle différent lors de la conception du plan stratégique, des plans industriels et commerciaux (PIC) ou des programmes directeurs de production (PDP).

Il s'agit d'estimer des ressources ou des budgets globaux, des quantités de familles de produits ou de variétés de produits.

Ces prévisions correspondent à des estimations de vente avant d'être validées par des commandes clients (demandes indépendantes).

Type de plan	Type de prévisions
Plan stratégique	Prévision budgétaire, financement… Prévision de part de marché ou segment de marché Positionnement stratégique des produits Prévision des horaires de travail
PIC	Prévision des familles de produits Prévision des stocks de familles de produits
PDP	Prévision par produit, variété de produit (mixte de produits) Prévision des stocks de produits

3.1.2 Principes des prévisions

– Les prévisions, par nature sont **incertaines**. Encore faut-il estimer l'incertitude et la prendre en compte. Celle-ci peut être estimée d'une manière statistique.

– Plus les produits sont **regroupés en familles**[19] et plus la période est longue, plus l'incertitude des prévisions est réduite. Inversement, plus on fait des prévisions sur des produits spécifiques, plus l'incertitude des prévisions augmente.

– Les prévisions sont plus précises à court terme qu'à long terme. Ainsi, plus le **délai de fabrication** est important, plus l'horizon des prévisions sera lointain et plus ces dernières seront incertaines.

3.1.3 Caractéristiques d'une prévision

Schématiquement, une prévision peut se décomposer en trois éléments (figure 3.1).

– **La saisonnalité** est la répétition d'un phénomène selon une périodicité, avec des valeurs qui alternent entre des périodes hautes et des périodes basses.

– **La tendance** donne l'évolution à moyen terme de la prévision. Elle peut être positive, négative ou nulle. Sur une période limitée, on peut l'assimiler à une portion de droite obtenue par la méthode des moindres carrés.

---

[19] On définit par le terme « famille de produits », l'ensemble des produits qui utilisent le même processus de fabrication ou d'équipement.

– **Les variations aléatoires** sont des variations imprévisibles autour d'une valeur moyenne prévue, souvent modélisées grâce aux statistiques (loi normale, par exemple) à partir d'un historique (sans saisonnalité ni tendance).

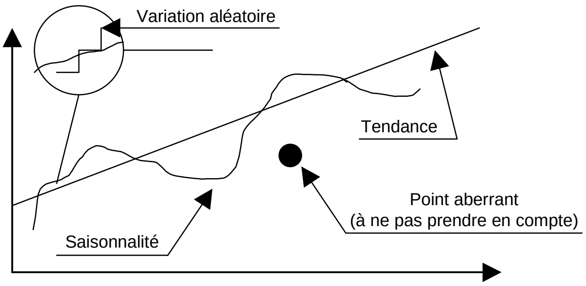


Figure 3.1 Les trois éléments de la prévision

Note : Le **point aberrant** est un point nettement différent par rapport aux autres et constitue un événement non significatif.

- **La saisonnalité de la demande**

Lorsqu'un phénomène revient régulièrement, on parle de demande saisonnière (par exemple : vente de skis, jouets de noël, produits saisonniers…). Il s'agit de calculer l'indice de saisonnalité par période.

L'indice de saisonnalité ou coefficient saisonnier (Cs) est le rapport entre la demande réelle d'une période (i) par la demande moyenne (évaluée sur un ensemble de périodes, par exemple, par la moyenne mobile).

Exemple :

Pour une période donnée, la demande du marché est de 135 produits alors que la demande moyenne est de 100.

L'indice de saisonnalité sera de 135/100 = 1,35.

Ce coefficient (Cs) permet de :

– « **Saisonnaliser** » en multipliant la prévision par l'indice de saisonnalité.

Exemple :

Une entreprise prévoit de vendre pour le mois suivant 2 000 cuisines intégrées (prévision sans saisonnalité ni tendance). Sachant que le coefficient de saisonnalité pour ce mois est de 1.35, la prévision intégrant la saisonnalité sera de 2000 x 1,35 = 2 700 cuisines.

– « **Désaisonnaliser** » une demande dans le cadre de l'analyse d'un historique. Cela consiste à diviser la demande réelle d'une période (i) par l'indice de saisonnalité de la période (i).

Exemple :

Une entreprise vend des skis tout au long de l'année. Sur deux périodes significatives, novembre et mai, elle a vendu respectivement 21 000 et 4 700 paires de skis. Les indices de saisonnalité respectifs sont de 2,3 et 0,5. La demande désaisonnalisée est égale :

- pour novembre, à : 21 000/2,3 = 9 130
- pour mai, à : 4 700/0,5 = 9 400

Le résultat met en évidence une demande (sans saisonnalité) plus importante en mai qu'en novembre. Les ventes réelles laissaient croire l'inverse.

- **La tendance**

Pour mettre en évidence le phénomène, on utilise les formules mathématiques de la droite des moindres carrés. La plupart des calculettes et les tableurs intègrent ces fonctions et permettent d'obtenir directement les coefficients a et b à partir d'un historique.

Équation de la droite :

$$Y = aX + b$$

Avec :

$$a = \frac{\sum (X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})}{\sum (X_i - \overline{X})^2} \quad \text{et} \quad b = \overline{Y} - a\overline{X}$$

Où : $\overline{Y}$: moyenne des Y ; $\overline{X}$: moyenne des X

La tendance est validée par le coefficient de corrélation r, qui doit tendre vers 1, avec σcorrespondant à l'écart type.

$$r = a\frac{\sigma_x}{\sigma_y}$$

Exemple **:**

Calcul de tendance à partir d'un historique de demandes client (Yi) par période (Xi)

Période (X)	1	2	3	4	5	6	7
Demande (Y)	4	9	13	14	17	18	21

On obtient les résultats : a ≈2,6 ; b = 3,314 et r = 0,942

La droite de tendance est égale à : Y = 2,6X + 3,314

Le coefficient de corrélation (r = 0,942) proche de 1, valide cette tendance.

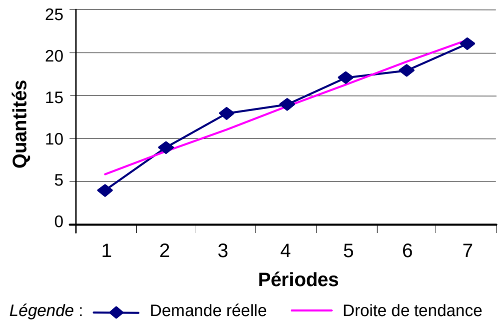


Figure 3.2 Droite de la tendance

- **Les variations aléatoires**

Pour obtenir les variations aléatoires, à partir d'un historique, il faut retirer les phénomènes de saisonnalité et de tendance.

Exemple[20] :

Mise en évidence des variations aléatoires à partir du cas précédent.

Période (n)	1	2	3	4	5	6	7
Demande réelle (D)	3	8	14	16	18	17	15
Coefficient saisonniers (Cs)	0,75	0,89	1,08	1,14	1,06	0,94	0,71
Demande désaisonnalisée	4	9	13	14	17	18	21
Demande sans saisonnalité, ni tendance	4	6,4	7,8	6,2	6,6	5	5,4
Moyenne	5,9						
Écart par rapport à la moyenne	-1,9	0,5	1,9	0,3	0,7	-0,9	-0,5

Explication de calcul pour la période 7 :

– Demande désaisonnalisée = 15/0,71 = 21

– Demande sans saisonnalité ni tendance = 21 – (2,6 x 6) = 5,4
(2,6 = coefficient a, droite tendance)

---

20 Inspiré du jeu « MRP par l'exemple », CIPE, Paris 1993.

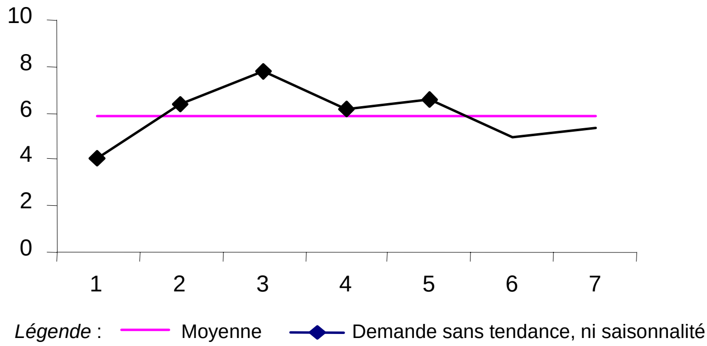


Figure 3.3 Variations aléatoires

Pour caractériser cette variabilité autour de la demande moyenne, on utilise couramment l'écart type qui peut être :

– calculé directement

  $\sigma_n = 1{,}14$ (écart type de la population)

  $\sigma_{(n-1)} = 1{,}23$ (estimation de l'écart type de la population à partir d'un échantillon).

– et avant que les fonctions statistiques ne soient intégrées dans les calculettes ou tableurs, il pouvait être estimé à partir de l'écart moyen absolu (EMA) :

$$\text{EMA} = \frac{\sum |\text{ écarts à la moyenne }|}{n} = \frac{6{,}7}{7} = 0.957$$

$$\sigma = 1{,}25 \times EMA = 1{,}25 \times 0.957 = 1{,}196$$

Cette variabilité est l'élément de base pour définir un stock de sécurité (*cf.* § 3.2.10).

Quelle que soit la méthode de prévisions employée (*cf.* § 3.1.4), la prévision doit se calculer :

– dans un premier temps, à partir d'une demande sans saisonnalité ni tendance (sauf pour le lissage exponentiel double qui intègre le phénomène de tendance) ;

– dans un second temps, on intègre au résultat obtenu la saisonnalité et selon le modèle la tendance.

3.1.4 Principales techniques de prévision

Toutes méthodes ou techniques de prévision s'appuient généralement sur des données antérieures (historique) concernant des produits analogues.

Ces données sont enregistrées par période suivant différents critères (options, type de produit…). Avant de constituer des prévisions, tout changement ou événement survenu doit être consigné et enregistré (promotion, intempéries, changement de prix…). Les prévisions doivent prendre en compte ces situations.

Enfin, en fonction des types de produits, il est souhaitable de faire correspondre le type de client, le type de distribution, la fréquence des ventes.

Usuellement, on dénombre trois catégories de techniques de prévisions :

– **Les techniques qualitatives**

  Ce sont des techniques de prévisions basées sur l'opinion et le jugement. Elles sont couramment utilisées au niveau du plan stratégique lors du lancement d'une nouvelle innovation, mais aussi lors de l'introduction d'un nouveau produit pour mesurer la tendance d'achat.

  Les techniques d'étude de marché, d'enquêtes sur les intentions d'achat ou autres sont sollicitées. La méthode Delphi est la plus utilisée. Des experts donnent leur avis sur des choix de produit, puis les confrontent. Un choix final est établi.

– **Les techniques quantitatives liées à un événement externe (méthodes exogènes)**

  Ces techniques s'appuient sur des indicateurs externes comme le taux de natalité, le nombre de mariages, de permis de conduire, de construction de pavillons… Les prévisions sont fortement corrélées par rapport à ces phénomènes.

  Les données sont généralement publiées dans des revues ou des magazines spécialisés d'État ou privés. Ces techniques sont surtout utilisées au niveau du plan stratégique et du PIC.

– **Les techniques quantitatives liées au produit étudié (méthodes endogènes)**

  Elles se construisent à partir des données antérieures, enregistrées et prêtes à être restituées et supposent que l'avenir aura la même allure que le passé. Le futur se construit au fur et à mesure que l'on observe le passé.

  Ces techniques sont utilisées au niveau de l'élaboration du PDP (les plus employées sont la **moyenne mobile** et le **lissage exponentiel**).

Elles s'utilisent à partir d'un historique de demandes sans saisonnalité ni tendance, afin de ne pas fausser le calcul par des facteurs non aléatoires (il convient si nécessaire de retirer ces phénomènes suivant la méthodologie expliquée au paragraphe 3.1.3).

- **La moyenne mobile**

La technique utilisée est simple : elle consiste à prendre trois ou plusieurs périodes immédiatement antérieures et d'en faire la moyenne pour obtenir la prévision de la période à venir, et ainsi de suite dès que l'on connaît la valeur réelle de la demande.

La moyenne mobile se construit au fur et à mesure de la connaissance des demandes réelles (ventes) dans le temps.

Exemple :

Si les valeurs des 3 dernières périodes antérieures (figure 3. 4) sont : 9, 7 et 9, la valeur de la période 7'sera (P4 + P5 + P6)/3 = (9 + 7 + 9)/3 = 8,4.

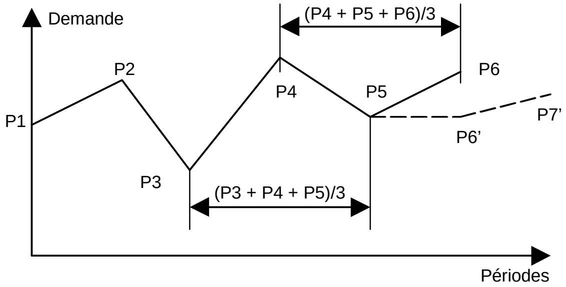


Figure 3.4 Représentation de la moyenne mobile

Les prévisions obtenues par cette méthode seront d'autant plus « lissées » que le nombre de périodes utilisé pour le calcul sera important.

La moyenne mobile est simple d'utilisation mais implique un historique assez long et donne un poids équivalent à chaque période. Pour pallier cet inconvénient, une pondération peut être utilisée afin de donner plus d'importance aux périodes récentes (moyenne mobile pondérée).

Exemple :

Si le poids des périodes P4, P5 et P6 est successivement 1, 2 et 3, la moyenne mobile de la période P7'sera (1 P4 + 2 P5 + 3 P6)/3 = 50/6 = 8,3.

L'objectif visé (meilleure prise en compte des périodes récentes) par cette pondération peut également être atteint par la méthode du lissage exponentiel.

- **Lissage exponentiel simple**

Pour calculer la prévision de la future période $P_{(n)}$, il s'agit de prendre en compte d'une part la prévision de la période immédiatement antérieure $P_{(n-1)}$ et d'autre part l'écart corrigé par le coefficient (α) entre la demande réelle $D_{(n-1)}$ de cette période antérieure et de sa prévision $P_{(n-1)}$.

$$P_{(n)} = P_{(n-1)} + \alpha[D_{(n-1)} - P_{(n-1)}] \quad (1)$$

Avec : $0 < \alpha < 1$

La valeur choisie du coefficient donne un effet plus ou moins important aux anciennes valeurs :

– Si α tend vers 0, on considère que $P_{(n)} \cong P_{(n-1)}$, donc la dernière demande a peu de poids à (modèle peu réactif).
– Si α tend vers 1, on considère que la prévision $P_{(n)}$ est proche de la demande réelle $D_{(n-1)}$, d'où un poids très important à la dernière demande (modèle très réactif).

Exemple 1 :

Dans l'hypothèse où :

$D_{(n-1)} = 100$; $P_{(n-1)} = 90$, et

$\alpha = 0,1$; alors $P_{(n)} = 90 + 0,1\ (100 - 90) = 91$

$\alpha = 0,5$; alors $P_{(n)} = 90 + 0,5\ (100 - 90) = 95$

$\alpha = 0,9$; alors $P_{(n)} = 90 + 0,9\ (100 - 90) = 99$

En développant l'équation (1), nous obtenons :

$P_{(n)} = P_{(n-1)} + \alpha D_{(n-1)} - \alpha P_{(n-1)}$

$P_{(n)} = \alpha D_{(n-1)} + (1 - \alpha)P_{(n-1)}$

et si :

$P_{(n-1)} = \alpha D_{(n-2)} + (1 - \alpha)P_{(n-2)}$

$P_{(n)} = \alpha D_{(n-1)} + \alpha(1 - \alpha)\ D_{(n-2)} + (1 - \alpha)^2\ P_{(n-2)}$

et ainsi de suite…

$P_{(n)} = \alpha D_{(n-1)} + \alpha(1 - \alpha)\ D_{(n-2)} + \alpha(1 - \alpha)^2\ D_{(n-3)} + ...$

On peut noter que plus on prend en compte les demandes éloignées, plus leur poids diminue.

Exemple 2 :

Dans l'hypothèse où :

$\alpha = 0{,}1$ alors $\alpha(1 - \alpha) = 0{,}09$ et $\alpha(1 - \alpha)^2 = 0{,}81$

$\alpha = 0{,}5$ alors $\alpha(1 - \alpha) = 0{,}25$ et $\alpha(1 - \alpha)^2 = 0{,}25$

$\alpha = 0{,}9$ alors $\alpha(1 - \alpha) = 0{,}09$ et $\alpha(1 - \alpha)^2 = 0{,}01$

Cette méthode se rapproche de la technique de la **moyenne mobile pondérée**. La valeur α est généralement définie empiriquement. Elle correspond à l'importance accordée à l'écart entre la prévision et la demande. Elle est issue de l'expérience, en fonction du type de produit sur lequel on fait des prévisions. Cette technique convient pour des prévisions à court terme et des demandes fluctuantes.

- **Lissage exponentiel double**

Le lissage exponentiel simple utilise une demande sans tendance. Quant au modèle du lissage exponentiel double, il permet d'intégrer les paramètres de la droite de régression caractérisant cette tendance (*cf.* § 3.1.3).

– Si $T_{(n+1)}$ est la prévision de la tendance pour la période n + 1,

  alors, $T_{(n+1)} = \beta[(P_{(n+1)} - P_{(n)}] + (1 - \beta)T_{(n)}$,

  avec : $[(P_{(n+1)} - P_{(n)}]$, deux périodes consécutives, $T_{(n)}$, précédente tendance et β, le coefficient de lissage.

– Si $P_{(n+1)} = \alpha D_{(n)}, + (1 - \alpha) P_{(n)}$ est la prévision en lissage exponentielle simple,

  et si on applique la tendance $T_{(n+1)}$,

  alors $P^*_{(n+1)} = P_{(n+1)} + K.\ T_{(n+1)}$,

  avec : K, coefficient de correction de tendance $= (1 + \alpha)/2\alpha$ (âge de la prévision) et P*, la prévision corrigée.

3.1.5 Suivi de prévision

Les prévisions sont usuellement incertaines ; encore faut-il savoir à quel degré d'incertitude. Quatre indicateurs sont utilisés pour mesurer la qualité d'une prévision : l'**écart algébrique moyen**, l'**écart absolu moyen**, le **carré moyen des erreurs** et le **signal d'alerte**.

Tous ces indicateurs peuvent être utilisés seuls ou de préférence en complémentarité.

- **Écart algébrique moyen (eam)**

L'écart algébrique moyen est la somme algébrique des erreurs de prévision par rapport à la demande réelle, divisée par le nombre de périodes étudiées.

$$eam = \frac{\sum_{i=1}^{i=n}(D_i - P_i)}{n}$$

Cet indicateur signale l'apparition, ou non, d'un biais systématique dans la prévision. Ce biais existe quand la demande réelle cumulée s'écarte de la prévision cumulée. Lorsque le biais s'amplifie, des corrections sont apportées à la prévision après détection des causes.

D'où l'intérêt de suivre et de mesurer l'écart algébrique moyen. Cet indicateur évalue le **centrage statistique du modèle des prévisions** visé par rapport à la demande réelle. Si le modèle de prévision est adapté à la demande, les variations aléatoires seront les seules causes d'erreur. Donc les erreurs positives ou négatives se compensent et leur moyenne avoisine zéro.

En résumé, la présence d'un écart algébrique moyen non nul sera généralement la preuve qu'une tendance positive ou négative n'est pas prise en compte par le modèle de prévision.

- **Écart absolu moyen (EAM)**

L'écart absolu moyen est la somme des valeurs absolues des erreurs de prévision par rapport à la demande réelle, divisée par le nombre de périodes étudiées.

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^{i=n}\left|D_i - P_i\right|}{n}$$

Cet indicateur, appelé MAD (*Mean Absolute Deviation*) par les Anglos-Saxons évalue la dispersion de la demande réelle par rapport à la prévision.

Il permet de mettre en évidence l'amplitude de la déviation.

- **Carré moyen des écarts (CME)**

Le carré moyen des écarts est la somme des carrés des écarts de prévision par rapport à la demande divisée par le nombre points mesurés.

$$CME = \sum_{i=1}^{i=n}\frac{(D_i - P_i)^2}{n}$$

Cet indicateur est préféré à l'EAM (MAD) si les amplitudes de déviation restent faibles. Dans le cas de fortes amplitudes peu fréquentes, l'EAM sera privilégié.

Exemple de calcul des trois indicateurs

Demande	Prévisions	eam	EAM	CME
105	100	+ 5	5	25
99	100	– 1	1	1
102	100	+ 2	2	4
107	105	+ 2	2	4
99	105	– 6	6	36
100	105	– 5	5	25
102	105	– 3	3	9
714	720	– 6	24	104

eam = 0,86

EAM (MAD) = 3,42

CME = 14,85

Interprétation : phénomène de décentrage, car l'indicateur eam ne tend pas vers zéro et variations de fortes amplitudes caractérisées par les indicateurs EAM et CME.

- **Signal d'alerte**

Lorsque nous devons suivre un nombre important de prévision d'articles, il est nécessaire de détecter la moindre déviation anormale, afin de réagir rapidement. Par conséquent, il est important pour chaque article de surveiller en continu au moins deux des trois indicateurs pré cités. Il s'agit de borner ces indicateurs pour nous alerter des dérives trop importantes.

Le principe est simple : on fixe une limite de l'écart algébrique moyen (eam), c'est-à-dire un décentrage donné et une dispersion donnée, l'écart absolu moyen (EAM), puis on calcule le signal d'alerte. Cet indicateur sert à surveiller la prévision par rapport à la demande réelle. La formule de calcul est la suivante :

$$S_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (D_i - P_i)}{MAD}$$

Une valeur du signal d'alerte est calculées à partir des valeurs fixées (MAD) et (eam), puis on contrôle les dérives. Cet indicateur peut prendre des valeurs positives ou négatives suivies à partir d'un système informatique.

Exemple :

Pour un produit donné, une entreprise utilise un signal d'alerte (Si) ayant pour valeur ± 1,5 et décide de mettre sous contrôle ses prévisions de cinq périodes. On suppose accepter une dispersion (MAD) de 2,5.

n	Demande	Prévisions	(Di – Pi) cumulé	Signal d'alerte
1	22	20	+ 2	+0,80
2	19	20	+ 1	+0,40
3	27	30	– 2	-0,80
4	31	30	– 1	+0,40
5	25	30	– 6	-2,40

Au regard de la période 5, le signal d'alerte (= – 2,4) est inférieur aux limites fixées (– 1,5). Il s'avère nécessaire de corriger la prévision des prochaines périodes.

Note : Pour faire face aux incertitudes des prévisions, on peut utiliser ces indicateurs pour évaluer les stocks de sécurité.

3.2 Gestion des stocks

3.2.1 Objectifs

Quels que soient la nature de l'entreprise, les stocks de matières premières, les en-cours de fabrication, les produits semi-finis ou les produits finis, les stocks sont des organes régulateurs. Le zéro stock est un objectif souhaité par les entreprises mais jamais atteint.

- **Quatre causes principales entraînant la constitution de stock**

– L'impossibilité de fournir à un instant donné un article à un client interne ou externe (délais de fabrication trop longs).

– La fabrication par lots et/ou les amonts de production non planifiés (en-cours qui existe devant les machines).

– La planification qui génère des stocks intermédiaires pour satisfaire des impératifs de productivité et diminuer le nombre de changement d'outils.

– L'incertitude sur les demandes et/ou les ruptures d'approvisionnement qui conduisent à la constitution de stocks de sécurité.

- **Quatre types de stock existant dans les entreprises**

– Les stocks d'approvisionnement : matières premières ou composants avant assemblage.

– Les stocks tampons : matière ou produits (finis ou non) pour équilibrer les différences de cadence du système.

– Les stocks de produits finis en attente de transfert vers le client.

– Les stocks de pièces détachées ou consommables : pièces de rechange pour les machines, les outillages, la maintenance ou le service après-vente.

L'objectif des stocks est de garantir d'une part le service client et d'autre part d'augmenter la productivité.

- **Quatre fonctions des stocks**

– La fonction de régulation contre les aléas d'approvisionnement (grève, accidents, incidents…), les pannes de machines et les variations de la consommation.

– La fonction économique pour réaliser éventuellement des économies d'approvisionnement lors d'achat par grande quantité afin d'obtenir des remises des fournisseurs et/ou de l'intérêt à capitaliser (spéculation).

– La fonction d'anticipation pour éviter la pénurie si la demande est plus forte que prévue ou pour des produits saisonniers (plans de production nivelée).

– La fonction de productivité lors de regroupement de lots afin d'obtenir une production de masse.

3.2.2 Différents coûts en gestion de stock

- **Les coûts d'acquisition ou de lancement (Cl).**

Ces coûts correspondent aux passations de commandes. Ils sont généralement proportionnels au nombre de commandes passées.

- **Les coûts de possession de stock (Cs)**

Ces coûts sont fonction des moyens de stockage et de la la valeur du produit stocké. Les principaux coûts sont liés au type d'entreposage, d'emmagasinage, de manutention, à la détérioration du produit, à l'obsolescence (périmé, hors

mode…). L’ensemble de ces coûts est exprimé par un « taux de possession » le plus souvent annuel et en pourcentage (t % par euro de matériel stocké). Ces coûts sont proportionnels au nombre d’articles stockés et à la durée de stockage. Habituellement, le taux varie entre 20 et 35 %.

- **Les coûts de pénurie ou de rupture (Cr)**

Ces coûts sont difficiles à estimer et sont en général liés à la pénurie constatée, au nombre de produits manquants, et sont fonction de la durée de la pénurie.

3.2.3 Classification des stocks

Les stocks coûtent cher, immobilisent de la trésorerie et leur gestion nécessite beaucoup de temps administratif. Cette gestion doit être sélective, et les moyens doivent être consacrés en priorité aux articles coûteux et importants. Par exemple : les fournitures de bureau ne sont pas gérées de la même façon que des moyens de transport. De même, les pièces de faible valeur utilisées en grand nombre se gèrent différemment des produits coûteux à faible consommation.

Une recherche de méthodes de gestion adaptées par catégories de stock s’impose. Pour cela on utilise généralement la méthode ABC ou méthode de Pareto qui constitue un instrument simple d’aide à la classification. Elle est également très largement employée en gestion de la qualité ou en étude d’amélioration de productivité. Le principe de la méthode et un exemple détaillé figurent en partie III, au paragraphe 9.1.

La méthode est bien connue sous le nom de loi de Pareto ou de loi des 80-20, qui annonce, par exemple, que dans la gestion des stocks 20 % des produits représentent 80 % de la valeur totale des sorties. Cette méthode est primordiale dans la gestion des articles, elle permet de les répartir par classes d’importance.

- Classe A : articles ou produits de forte importance.
- Classe B : articles ou produits d’importance normale.
- Classe C : articles ou produits de faible importance, selon le critère de classification utilisé.

Les critères les plus utilisés sont : consommation annuelle (valeur ou quantité), heures de manutention exigées, marge sur coût variable, durée de vie des produits alimentaires…

Le choix du critère dépend de l’objectif de l’étude.

3.2.4 Modèle de la quantité économique

- **Modèle de base**[21]

Ce modèle fut développé en 1915 par Fred Harris, un employé de Westinghouse, et non par Wilson qui introduisit la notion de stock de sécurité statistique. C'est pourquoi l'appellation très courante de « formule de Wilson » est abusive et erronée. Les Anglos-Saxons appellent ce modèle « EOQ model » (*Economic Order Quantity*).

Les hypothèses de base sont les suivantes :

- on ne gère qu'un article à la fois,
- la demande (D) est connue et régulière sur la période d'étude, elle est généralement observée sur une année,
- la pénurie d'article n'existe pas,
- le délai de livraison est nul,
- le coût de commande ou de lancement (Cl) est connu et constant,
- le coût de possession de stock (Cs) d'un article pendant une période est proportionnel à la valeur stockée et constant dans le temps,
- le taux de possession (t) du stock est exprimé en % (en euro par an de la valeur stockée),
- le coût unitaire (a) de l'article étudié ne varie pas suivant la quantité commandée,

En approximant la demande par une droite, l'évolution du niveau du stock est fonction du temps et varie de Q à 0 (figure 3.5). Si le niveau de stock maximum de réapprovisionnement est Q, alors le stock moyen est Q/2.

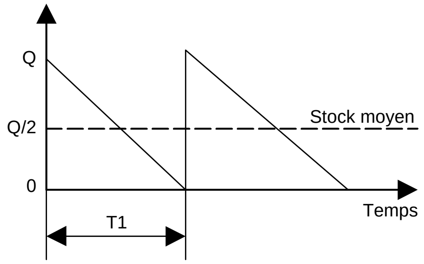


Figure 3.5 Stock moyen

[21] On peut utiliser cette formule pour fixer une taille de lot en fabrication, dans ce cas on l'appelle « série économique ».

Calcul de la quantité économique

Dans l'hypothèse où :

– le coût de possession du stock Cs = (Q/2).a.t

– le coût de passation des commandes Cl = (D/Q). Cl

– le coût total d'achat annuel CTa = D. a

Alors, le coût total CT = D. a + Q/2.a.t + (D/Q). Cl

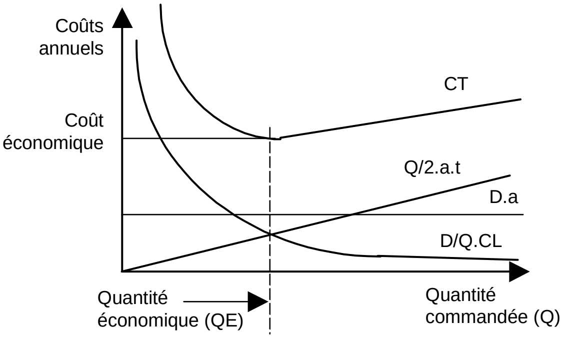


Figure 3.6 Quantité économique QE

Pour obtenir la quantité optimale QE, on dérive le coût total par rapport à Q et on calcule pour quelle quantité de Q, le coût total de stockage est minimum.

D'où :

$$dCT/dQ = (a.t)/2 - (D.Cl)/Q^2 = 0$$

Soit :

$$\textbf{QE} = \sqrt{\frac{2 \times D \times Cl}{a \times t}}$$

Avec :

D : demande pour une période P (usuellement l'année)

Cl : coût de commande ou de lancement

a : coût unitaire de l'article concerné

t : taux de possession sur la même période P

La période économique d'approvisionnement en jour sera :

$$\textbf{PE} = (\text{nombre de jours ouvrés} \times \frac{QE}{D})$$

Note : Au voisinage de la quantité économique, le coût total d'approvisionnement varie peu[22].

Exemple :

Si D = 30 000 articles par an, Cl = 20 €, a = 85 € , t = 10 % et 230 jours ouvrés par an,

$$QE = \sqrt{2 \times 30000 \times 20 / 85 \times 0{,}10} = 375 \text{ articles.}$$

La période économique d'approvisionnement sera égale :

$$PE = \frac{230 \times 375}{30000} \cong 3 \text{ jours}.$$

D'une manière générale, la formule de la quantité économique s'applique surtout à la gestion des stocks et des approvisionnements, mais aussi pour le calcul de la taille de lot économique à lancer en production.

- **Cas des remises**

Dans le calcul de la quantité économique, le prix est supposé constant, quelle que soit la quantité de produits approvisionnée. Cependant, en fonction de la quantité achetée, des remises de prix peuvent être négociées.

Le coût total n'est pas une courbe continue, mais une succession de plusieurs courbes en fonction de la remise obtenue.

Supposons q la quantité commandée :

$$0 < q0 < Q1 \text{ rabais nul, r0}$$

$$Q1 < q1 < Q2 \text{ rabais r1}$$

$$Q2 < q3 < Q3 \text{ rabais r2}$$

$$\ldots$$

$$Qk < qk < Qk + 1 \text{ rabais rk}$$

Coût total de stockage CT1, si on a une remise r1 > 0 :

$$CT1 = D.\ a\ (1 - r1) + (q/2).t.a\ (1 - r1) + (D.Cl)/q$$

Avec : $0 \leq q0 < Q1$

Et ainsi de suite (figure 3.7).

---

22 *Cf.* l'ouvrage *Gestion de production*, d'Alain Courtois, CFPIM, Chantal Martin-Bonnefous, CPIM et Maurice Pillet, CFPIM , Éditions d'Organisation, 1995.

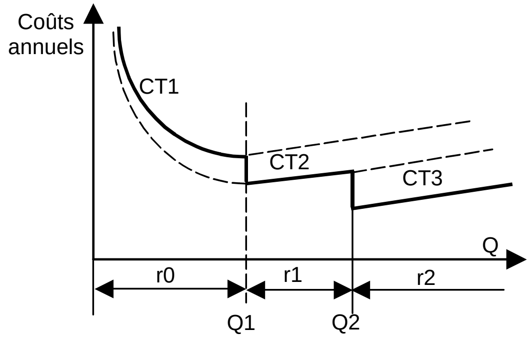


Figure 3.7 Cas de remise sur les quantités

La formule du coût total d'approvisionnement, en tenant compte des quantités suivant les remises, est donc :

Coût total de stock = D. a (1 – rk) + [(qk.a.t)/2](1 – rk) + (D/Q). Cl

Exemple[23] :

On considère un article A dont la demande annuelle est de 30 000 unités. Le fournisseur propose des remises selon les quantités commandées.

Coût de l'article :

– a1 = 100 € si q < 800

– a2 = 85 € si q ≥800

Le coût d'une commande est de Cl = 20 €

Le taux de possession est t = 10 %

Calcul de la quantité économique pour a2 = 85 €

$$QE2 = \sqrt{2 \times 30000 \times 20 / 85 \times 0{,}10} = 454 \text{ articles}$$

La quantité QE2 est hors de la zone q ≥800. Il n'est pas nécessaire de calculer le coût total CT2.

Calcul de la quantité économique pour a1 = 100 €

$$QE1 = \sqrt{2 \times 30000 \times 20 / 100 \times 0{,}10} = 346 \text{ articles}$$

[23] Exemple inspiré de l'ouvrage *Gestion de production, op. cit.*

La quantité QE1 est comprise dans la zone q < 800. Le coût total de stockage est :

CT1 = 30 000 x 100 + (30 000/346) x 20 + (346/2) x 100 x 0,1

CT1 = 3 003 464 €

Si maintenant, on calcule le coût total pour q = 800 (quantité de ruptures), alors :

CT2 = 30 000 x 85 + (30 000/800) x 20 + (800/2) x 85 x 0,1

CT2 = 2 554 150 €

Si le coût CT2 est inférieur au coût total pour a1 = 100 €, alors on retiendra la quantité Q2 = 800 à la condition que l'entreprise dispose suffisamment de place pour stocker le produit.

- **Réapprovisionnement continu**

On suppose jusqu'à présent une livraison en une seule fois avant la consommation (figure 3.8).

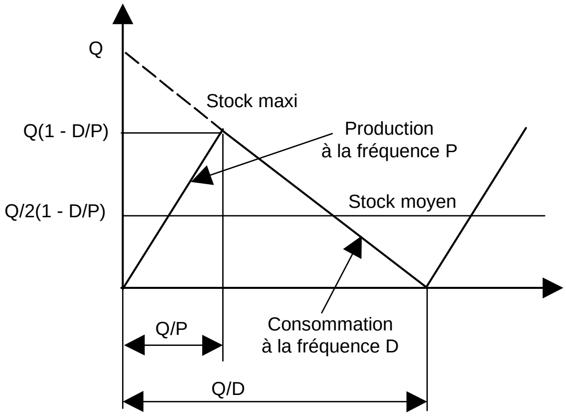


Figure 3.8 Réapprovisionnement continu

Cependant, il se peut que l'approvisionnement soit livré à un rythme différent de celui de la consommation.

Dans le cas où la fréquence de consommation (Fc) est inférieure à celle de la production ou de la livraison (Fp), alors :

– la quantité d'approvisionnement (Q) rentrera en stock à un rythme Fp pendant Q/P unités de temps,

– pendant cette durée, la consommation se fera à un rythme Fc (le stock Q ne sera jamais atteint).

Le stock maxi est : Q – Fc (Q/Fp) = Q (1 – Fc/Fp)

Le stock moyen sera égal : (Q/2) (1 – Fc/Fp)

Le coût total CT = (D/Q) Cl + (1 – Fc/Fp) (Q/2) a.t + D. a

Avec : D = la quantité pour une période (usuellement annuelle).

La quantité économique sera :

$$QE = \sqrt{\frac{2.D.Cl}{a.t(1\text{-}Fc/Fp)}}$$

Exemple :

Si la demande annuelle D = 20 000 articles, le coût de commande Cl = 20 €, le taux de possession annuel t = 10 %, le coût unitaire a = 100 €, la fréquence de livraison Fp = 500 articles/heure et la fréquence de consommation Fd = 200 articles/heure, alors la quantité économique d'approvisionnement sera :

$$QE = \sqrt{\frac{2.20000.20}{100.0{,}1(1\text{-}200/500)}} = 365 \text{articles}$$

- **Regroupement de commandes**

Il est habituel de commander plusieurs articles[24] au même fournisseur. Afin de réduire les coûts administratifs ou de transport, on cherche à grouper les commandes d'articles pour le même fournisseur et aux mêmes dates. Il s'agit de rechercher le nombre optimal de commandes groupées.

Soit n articles à commander de coût unitaire a_i (i = 1 à n) et de quantité D_i, t le taux commun de possession, le coût de lancement des commandes groupées étant Cl, Nb sera le nombre de commandes pour le groupe. Le coût total de stockage est :

$$CT = Nb.Cl + \frac{t}{2Nb}\sum_{i=1}^{i=n} a_i D_i + \sum_{i=1}^{i=n} a_i D_i$$

Après dérivation de cette expression par rapport au nombre de commandes Nb, on obtient le nombre optimal de commandes communes sur une période donnée.

---

24 *Cf.* l'ouvrage *Management industriel et logistique* de Gérard Baglin *et all*, Éditions Economica, 1990.

$$Nb = \sqrt{\frac{t \sum_{i=1}^{i=n} a_i D_i}{2.Cl}}$$

Exemple :

On désire commander 4 produits à un même fournisseur, les demandes annuelles et les coûts unitaires étant respectivement :

Produits (P_i)	**P_1**	**P_2**	**P_3**	**P_4**
Demande annuelle (D_i)	700	1 500	800	2 500
Coût unitaire (a_i)	60 €	15 €	120 €	60 €

Le coût de la passation de la commande pour l'ensemble des 4 produits est de 40 € et le taux de possession annuel est de 10 %.

Le nombre optimal de commandes sera :

$$Nb = \sqrt{\frac{0{,}10[(700 \text{ x } 60) + (500 \text{ x } 15) + (800 \text{ x } 120) + (2500 \text{ x } 60)]}{(2 \text{ x } 40)}}$$

Nb = 6 commandes par an

3.2.5 Différents modes de gestion des stocks

Pour gérer un stock, deux questions fondamentales se posent :

- **Quand commander ?**

– Soit le gestionnaire passe une commande à périodicité fixe (une fois par semaine, mois…).

– Soit il passe une commande lorsque le niveau de stock atteint un seuil d'alerte appelé « point de commande ».

- **Combien commander ?**

– Soit la commande survient lorsqu'un stock minimum est atteint et on approvisionne la même quantité.

– Soit la passation de commande a lieu à périodicité fixe et on approvisionne des quantités différentes d'une commande à l'autre.

- **En résumé**

Quatre modèles de base sont couramment utilisés :

	Période fixe	**Période variable**
Quantité fixe	Réapprovisionnement fixe **(M1)**	Point de commande **(M3)**
Quantité variable	Recomplètement calendaire **(M2)**	Réapprovisionnement à la demande **(M4)**

– **Modèle M1**. Période et quantité de réapprovisionnement constant. C'est la gestion la plus simple qui convient pour les produits à très faible valeur ajoutée et de coût d'acquisition très faible. La demande doit être régulière.

– **Modèle M2**. Modèle de recomplètement. Le réapprovisionnement se fait à période fixe, mais à quantités variables. À chaque réapprovisionnement, on « recomplète » le stock au niveau maximum.

– **Modèle M3**. Modèle de gestion dit du « point de commande ». On approvisionne en quantité fixe dès que le niveau du stock atteint un niveau d'alerte.

– **Modèle M4**. Gestion à périodes et quantités variables. Ce modèle est utilisé lorsque les produits sont à très haute valeur ajoutée.

Quel que soit le modèle utilisé, deux objectifs sont recherchés :

– minimiser le coût d'approvisionnement, c'est-à-dire l'ensemble des coûts d'achat, de commande, de stockage et de pénurie dans le cas où le prix d'achat est constant,

– assurer un taux de service maximum : ce taux se mesure en nombre d'articles fournis par rapport au nombre d'articles demandés.

3.2.6 Méthode de réapprovisionnement fixe (quantité et période fixes)

Ce type de gestion est couramment utilisé pour les produits de catégorie C (classement ABC) et ne s'applique qu'à des articles de consommation continue et très régulière. À des périodes fixes (à déterminer par le client ou imposées par le fournisseur), on commande des quantités fixes (quantité économique, par exemple), comme les produits suivants : produit d'entretien, rondelle, vis… Un stock de sécurité est calculé pour satisfaire la demande entre deux commandes et en cas de légère variation de la demande (figure 3.9).

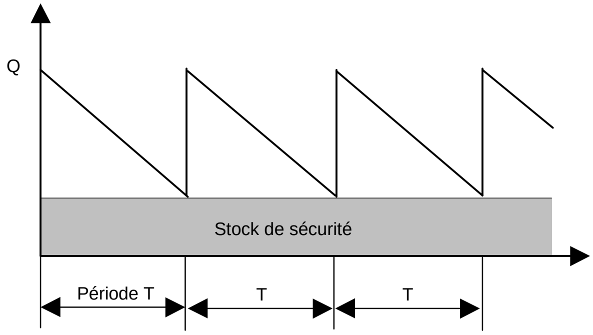


Figure 3.9 Réapprovisionnement fixe

Si la quantité économique est utilisée, la période économique sera :

$$QE=\sqrt{\frac{2.D.Cl}{a.t}} \qquad PE=12\sqrt{\frac{2.Cl}{t.D.a}}$$

3.2.7 Méthode du point de commande (quantité fixe et période variable)

Ce type de gestion consiste à commander la même quantité dès que le niveau de stock atteint un seuil minimum à définir, c'est la méthode dite du point de commande (figure 3.10)

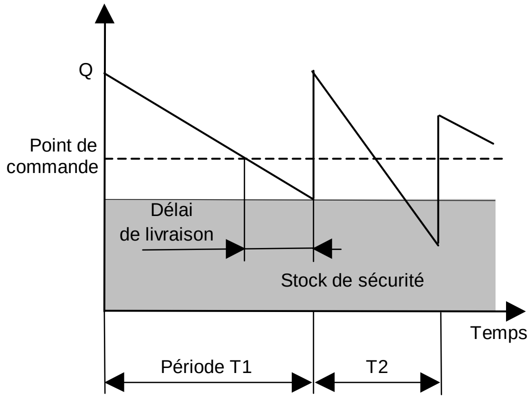


Figure 310 Méthode du point de commande

On détermine :

– la quantité fixe à commander (économique par exemple),

– le seuil d'alerte (le point de commande) qui est égal à la demande moyenne de l'article pendant la durée de réapprovisionnement auquel on ajoute le stock de sécurité éventuel.

Niveau du point de commande : Du . DL + Ss, avec :

Du = demande unitaire moyenne par unité de temps

DL = délai d'approvisionnement de l'article

Ss = stock de sécurité

Note : Cette méthode est utilisée lorsque la demande est très variable dans le temps. La surveillance automatique du seuil est possible informatiquement. Le fournisseur doit livrer suivant des périodes variables.

3.2.8 Méthode de recomplètement (quantité variable et période fixe)

À des périodes fixes, il s'agit de « recompléter » le stock initial (figure 3.11). Le niveau de ce stock (cible) est obtenu en tenant compte de la demande par unité de temps (Du) et de la durée entre deux commandes (T).

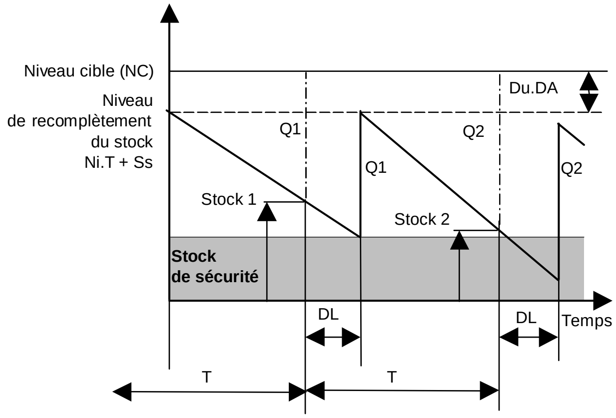


Figure 3.11 Méthode de recomplètement

Niveau cible NC : Du . (T + DL) + Ss, avec :

Du = demande moyenne par unité de temps

T = période de consommation (entre deux commandes)

DL = délai d'approvisionnement

Ss = stock de sécurité

Quantité à commander à l'instant (i) : Qi = NC – stock (i), avec :

Qi = quantité à commander

NC = niveau cible (utilisé pour déterminer Qi)

Stock (i) = niveau de stock physique à l'instant i

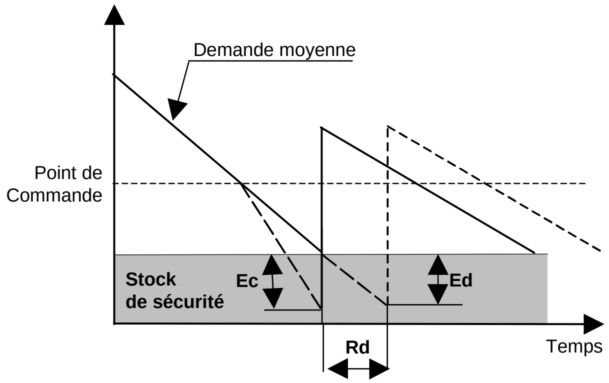
Note : Le niveau cible ne peut être atteint que si la consommation pendant le délai de réapprovisionnement est nul. La formule de la période économique peut être utilisée dans ce modèle de gestion. En cas de fortes irrégularités de la demande, il est préférable d'utiliser le modèle point de commande, car il nécessite un stock de sécurité moins important.

3.2.9 Méthode d'approvisionnement (quantité et période variables)

Cette méthode de gestion correspond à des produits de la classe A (classement ABC). Ils sont généralement coûteux et à fort risque de non consommation. Cela ne concerne que très peu d'articles qu'il faut gérer (souvent manuellement) avec attention.

3.2.10 Stock de sécurité

Ce stock existe pour pallier les variations aléatoires de la demande et/ou du délai d'approvisionnement (figure 3.12).



Légende :

Ec : écart dû à la surconsommation

Ed : écart dû au retard sur le délai de livraison

Rd : retard de livraison

Figure 3.12 Variations aléatoires (demande et délai)

- **Variations aléatoires de la demande**

Comme expliqué au paragraphe 3.1.3 concernant les prévisions, la variabilité d'une demande (sans saisonnalité ni tendance) se caractérise par l'écart type.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{(X_i - \overline{X})}{n}}$$

On admet généralement que la répartition de la demande suit une loi normale (figure 3.13). Dans ce cas, on peut utiliser les valeurs de la table de la loi normale réduite pour fixer le stock de sécurité.

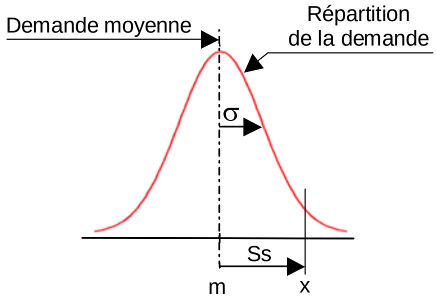


Figure 3.13 Répartition de la demande

Exemple :

Si la demande moyenne (m) = 200, l'écart type (σ) = 10 et que l'on désire un taux de service de 92 %, alors on cherche dans la table de la loi normale réduite ci dessous la valeur de (u) proche de 0,92.

$$u = \frac{X - m}{\sigma}$$

u	F(u)	u	F(u)	u	F(u)	u	F(u)
0,0	0,5000	1,0	0,8413	2,0	0,9772	3,0	0,99865
0,1	0,5398	1,1	0,8643	2,1	0,9821	3,1	0,99903
0,2	0,5793	1,2	0,8849	2,2	0,9861	3,2	0,99931
0,3	0,6179	1,3	0,9032	2,3	0,9893	3,3	0,99952
0,4	0,6554	1,4	0,9192	2,4	0,9918	3,4	0,99966
0,5	0,6915	1,5	0,9332	2,5	0,9938	3,5	0,99977
0,6	0,7257	1,6	0,9452	2,6	0,9953	3,6	0,99984
0,7	0,7580	1,7	0,9554	2,7	0,9965	3,7	0,99993
0,8	0,7881	1,8	0,9641	2,8	0,9974	3,8	0,99995
0,9	0,8159	1,9	0,9713	2,9	0,9981	3,9	0,99997

On trouve pour F(u) : 0,9192 (voisin de 0,92), une valeur de u égale à 1,4.

$$X = m + (u \times \sigma) = 200 + (1{,}4 \times 10) = 214$$

Le stock de sécurité est donc égal à : 214 – 200 = 14.

Le taux de service est égal à 91,92 %, c'est-à-dire un risque de rupture de : 100 – 91,92 = 8,08 %.

- **Variations aléatoires du délai d'approvisionnement**

Pour se protéger des retards de livraison, le stock de sécurité correspond à la demande moyenne durant le retard. Il peut être calculé par :

$$Ss = DL \times A \times \overline{X}$$

Avec :

DL = délai moyen d'obtention

A = allongement du délai en %

$\overline{X}$ = demande moyenne

Le retard de livraison peut être défini pour un risque donné par une approche identique à la précédente. Il faut pour cela caractériser la répartition des délais d'approvisionnement à partir d'un historique.

4
Gestion de projet : les principes généraux

4.1 Définition

Un projet[25] se définit comme une démarche spécifique qui permet de structurer méthodiquement et progressivement une réalité à venir. Les normes Afnor précisent que « le projet est défini et mis en œuvre pour élaborer une réponse au besoin d'un client, d'une clientèle ou d'un utilisateur et implique un objectif et des actions à entreprendre avec des ressources données ». Le projet a un caractère précis et un objectif stable. Il est caractérisé par :

– la **satisfaction d'un besoin spécifique** d'un client pour un prix engagé et respecté,

– un **début** et une **fin** déterminés par le client,

– son **unicité,** c'est-à-dire qu'il est unique et impose une organisation spécifique, autonome et temporaire,

---

[25] Définition de l'AFITEP : Association francophone de management de projet qui a pour vocation de promouvoir le management de projet dans les pays francophones.

– son **degré de complexité** (technique, social, géographique…),
– la **mobilisation des ressources**, moyens et compétences multidisciplinaires sur une période plus ou moins longue,
– des **modifications en cours**, ce qui lui confère son caractère évolutif,
– un **bilan global** réalisé à la fin du projet.

Face à des demandes clients de plus en plus personnalisées et innovantes à réaliser dans des délais et des coûts de plus en plus serrés, le management[26] et la gestion de projet apportent une réponse grâce à une **démarche structurée en phases** organisées selon un déroulement logique dans le temps.

4.2 Objectif résultat du projet

Quelle que soit l'idée de départ plus ou moins structurée du projet à réaliser, le client devra exprimer son besoin sous forme d'objectif résultat à atteindre. Ce résultat devra être quantifiable, observable et mesurable, intégrant les notions de budget et d'investissement, de délais, de rentabilité, mais aussi de qualité et de niveau de performance à atteindre, avec des contraintes de disponibilité de ressources.

Tout au long du projet, cet objectif devra être respecté, quelles que soient les modifications à venir. Le responsable de projet devra s'assurer en fin de projet que l'objectif résultat est atteint : **l'objectif est l'élément primordial de la réussite du projet**.

4.3 Les acteurs du projet

4.3.1 Le maître d'ouvrage

Le maître d'ouvrage est **le client**. Il fixe les objectifs, les budgets, les financements, les délais et les performances de l'ouvrage. Il choisit le maître d'œuvre et définit avec lui le contrat de projet. Il peut être utilisateur ou non, propriétaire ou rétrocéder le projet. C'est lui qui choisit et valide les solutions globales proposées par le maître d'œuvre. Il prend en compte les modifications à des moments clés du projet. Il est donc tenu informé régulièrement du déroulement du projet.

---

26 À distinguer du management par projets qui désigne un mode de management de l'entreprise visant à structurer tout ou partie de son organisation et de ses règles de fonctionnement à partir et autour des projets à réaliser.

4.3.2 Le maître d'œuvre

Désigné par le maître d'ouvrage, après un appel d'offres, le maître d'œuvre est la personne physique ou morale qui a la responsabilité globale du projet. Sa **responsabilité peut être totale ou partagée** selon le type de contrat entre lui et le maître d'ouvrage et/ou les coopérants et les sous-traitants, qu'il engage dans le projet. D'autres acteurs sont généralement associés au maître d'œuvre comme le fournisseur, le sous-traitant ou le coopérant. Le maître d'œuvre donne mission au chef de projet pour réaliser ce qu'attend le client.

4.3.3 Le chef de projet

Le chef de projet[27] reçoit mission du maître d'œuvre et a pour rôle de coordonner, d'animer et de piloter l'équipe projet à partir d'une démarche de management[28] de projet. Il est responsable de l'avancement des travaux, du suivi et des ajustements en coût et en délai. Ses compétences managériales attendues sont : **la communication, l'organisation, la constitution d'équipe, le leadership, la résolution de problèmes**.

4.3.4 L'équipe projet

Selon la taille du projet, la composition de l'équipe doit être définie très tôt, au moment de la première réunion ou se compléter dans les semaines à venir. Dans tous les cas, le choix des membres de l'équipe doit être judicieux car il conditionne la réussite du projet.

4.4 Le contrat de projet

Pour tous les projets, il y a un contrat entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre. C'est un document écrit qui reprend dans le détail les attentes de l'objectif résultat du projet et le type de management. Il constitue un engagement juridique et contient généralement les clauses[29] financières (taux de change, échéancier de paiement, pénalités de retard, prix…), administratives (entrées en vigueur du contrat, procédures administratives, conditions de

---

27 Lors des grands projets ou programmes, on parle de direction de projet. Cette fonction est exercée par un chef de projet dont le niveau hiérarchique et le titre dépendent de l'importance du projet.

28 Selon la norme Afnor FD X 50-115, le management de projet recouvre deux fonctions distinctes et complémentaires : la direction de projet et la gestion de projet.

29 *Cf.* l'ouvrage *Guide pratique pour la gestion des unités et des projets* de Dominique Tissier, INSEP Éditions, 1987.

réception, conditions des passages des marchés…) et juridiques du projet (arbitrage en cas de litige, assurances locales, propriété industrielle, langue du contrat…). Les « sous-contrats » passés entre l'entreprise principale et les entreprises sous-traitantes sont appelés marchés de travaux ou commandes.

Suivant le type de projet, le contrat peut être global ou partiel. Il est négocié avec le maître d'œuvre. Le contrat est généralement le résultat d'un processus long et rigoureux et peut prendre de multiples aspects.

On peut citer trois types de contrat[30] parmi les plus répandus :

– **Contrat au forfait**. Le prix est invariable et fixé forfaitairement. Le maître d'œuvre doit s'engager à fournir la prestation au prix indiqué, quel que soit le coût réel de la réalisation. Ce type de prestation est généralement conclu pour des projets à faible risque. Le forfait peut être partiel (le client n'achète que des prestations d'ingénierie, par exemple). Si le projet prévoit l'installation et la mise en service, on parlera de contrat **clé en main.**

– **Contrat remboursable**, appelé contrat **coûts plus honoraires**. La marge brute de la prestation est fixée dès le début du projet et ne dépend pas du coût final du projet. Les coûts directs, les frais généraux et autres frais sont remboursés par le client suivant l'avancement du projet sur présentation des factures. Le délai de négociation du contrat est plus court, mais l'étendue du travail peut évoluer dès l'instant où le fournisseur est payé pour tout travail effectué. Ce type de contrat convient pour les projets qui ont un calendrier serré et/ou une étendue de travail variable. Cependant, pour éviter toute dérive de la part du fournisseur, on fixe un plafond de charges ou bien on ne rembourse que les charges directes, ce qui donnera lieu à deux types de contrat : **coûts plus honoraires avec charges fixes** ou **contrats avec clauses d'intéressement**.

– **Contrat en régie**. Dans ce type de contrat, les risques sont partagés dans un climat de confiance. Toutes les dépenses d'ingénierie sont contrôlées par le client. Dans le contrat en régie, le maître d'œuvre n'assume plus que le risque technique.

---

[30] *Cf.* l'ouvrage *Guide pratique de la réussite de tous vos projets et produits industriels* (Chapitre 1), Éditions Weka Gestion de projet, 2000.

4.5 Pré-études du projet

Deux parties composent les pré-études de projet : l'identification du besoin et les études de faisabilité (figure 4.1).

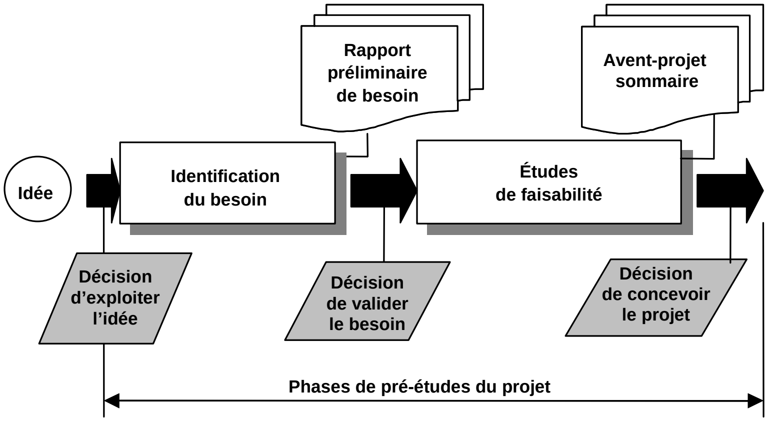


Figure 4.1 Phases de pré-études de projet

4.5.1 Identification du besoin

- **Idée du projet**

L'idée de projet peut provenir d'une nouvelle norme, d'une baisse d'activité, de la création de nouveaux produits ou prototypes, d'une nouvelle organisation… Elle peut être embryonnaire ou clairement identifiée par le client (l'idée précise le besoin du client et celle-ci peut être formulée sous la forme d'un cahier des charges).

À ce stade d'étude, la sélection d'idée s'impose. Elle est effectuée par un groupe de pilotage de l'entreprise. Plusieurs méthodes de sélection existent comme celle du « radar » (recherche de la cible), les méthodes comparatives… jusqu'aux plus sophistiquées, comme les méthodes multicritères. L'idée doit être compatible avec la politique et la stratégie d'entreprise.

La validation de l'idée se traduit en termes d'objectif résultat.

- **Études d'impact, de motivation et estimation globale**

Les **études d'impact** permettent de mesurer l'incidence du futur projet sur l'environnement (bruit, rejets, pollution…), sur le personnel (formation, embauche, changement de poste de travail, évolution des qualifications…),

sur les opportunités techniques et commerciales (image de marque, protection industrielle…) et sur le marché (importance de ce besoin, segment de marché, concurrence…).

Les **études de motivation** permettent d'évaluer le degré d'adhésion des différents acteurs du projet.

Enfin, l'**estimation globale** (ou ordre de grandeur) du coût du projet permet d'évaluer son budget prévisionnel. Elle permet de consolider la décision de poursuivre ou non le projet. L'estimateur pourra chiffrer le projet par analogie à d'autres projets antérieurs ou de références identiquement comparables à partir de critères discriminants, comme par exemple, la surface d'un bâtiment, la puissance d'une pompe…

- **Appel d'offres**

À l'issue de l'identification du besoin, le maître d'ouvrage fait appel à un maître d'œuvre pour réaliser le projet. L'appel d'offres, privé ou public (procédure spécifique), permet de sélectionner le maître d'œuvre le plus apte. Dans certains cas, celui-ci peut intervenir après les études de faisabilité.

4.5.2 Études de faisabilité

La décision de poursuivre le projet étant prise, il s'agit maintenant d'étudier la faisabilité du projet. Lors de cette phase, le chef de projet devra avoir connaissance du contrat, des études préalables, des analyses budgétaires, de tous les documents et les rapports.

- **Plan de management de projet**

Au début de cette étape, le chef de projet élabore son plan de management. C'est un document interne et essentiel qui contient le référentiel de management du projet. Il est stable et n'est révisé qu'à partir d'événements importants. Il peut être communiqué au client et comprend (selon l'Afitep) :

– Les renseignements généraux sur le projet (cadre d'étude, maître d'ouvrage, partenaires, options, variantes, budget du projet…).
– Le type de communication avec le client (signatures, codification, documentation, revues de projet, procédures des modifications…).
– Les renseignements techniques (caractéristiques, garanties, réglementations, brevet, protection industrielle, solutions…).
– Le type de conduite du projet (programme de réalisation, suivi des coûts, tableau de bord…).

– Le type d'organisation et la mise en place des hommes (rôles et responsabilités, dépendances hiérarchiques, structure, missions…), les types de management, de planification des tâches, les outils de suivi utilisés.
– Les clauses contractuelles du contrat et les circuits d'information et de décision (qui, quand, type, fréquence, contenu…).
– Les outils de gestion utilisés (planification, estimation, coûtenance…).

Ce document peut se compléter au cours du temps mais n'est pas remis en cause fondamentalement.

- **Cahier des charges**

C'est un document rassemblant les obligations et les éléments nécessaires pour définir le besoin et les principales contraintes à respecter pour le satisfaire. Le cahier des charges est le document d'interface entre le client exprimant son besoin et le fournisseur.

Il existe deux types de cahier des charges :

– Le **cahier des charges traditionnel ou technique** spécifie le produit par ses performances techniques. Son principal inconvénient est d'anticiper trop rapidement la solution, ce qui peut pénaliser le coût du projet.
– Le **cahier des charges fonctionnel**[31] exprime parfaitement le besoin du client en fonctions principales ou secondaires, les contraintes, les niveaux et la flexibilité avant que soit engagée la réflexion sur les solutions au moindre coût en utilisant le principe de l'analyse de la valeur. L'analyse fonctionnelle représente l'élément principal du cahier des charges.

Le contenu du cahier des charges traditionnel inclut les chapitres suivants :

– **Connaissance des caractéristiques** du futur produit (description, performances à atteindre, encombrements, délais, coût unitaire…).
– **Connaissance du client** (contraintes, habitudes, utilisateur du produit…).
– **Conditions techniques** (fonctions, normes, brevets, règlements, environnement, performances…) et **économiques** (délai, rentabilité, fiabilité, maintenance…).
– **Connaissance de la concurrence** (part du marché, techniques maîtrisées, habitudes données à la clientèle, argumentation…).

[31] Selon les normes Afnor NF X 50-151 et NF X 50-152 *Expression fonctionnelle du besoin. Analyse de la valeur*.

Les recherches de brevets, de nouvelles techniques, de maquettes ou autres solutions innovantes sont effectuées. Les plans d'ensemble ou de détail représentent la majeure partie des études de faisabilité. Les outils de sélection de solutions sont identiques à ceux qui sont utilisés dans la sélection d'idées.

Faute de cahier des charges, différents documents comme la fiche descriptive, les notes internes, le plan guide, le schéma directeur, le programme de travail… peuvent être utilisés.

- **Programme de projet**

Le chef de projet propose un programme de projet qui prend en compte l'organisation de l'entreprise et le produit à réaliser. Le projet sera représenté sous forme de modules (appelés aussi livrables ou lots de travaux), en faisant apparaître les co-traitants, sous-traitants…, les types de contrat, de documentation, le système d'information, les lignes budgétaires, la codification, le plan qualité, la responsabilité… (figure 4.2). C'est un pré-organigramme des tâches (WBS[32]).

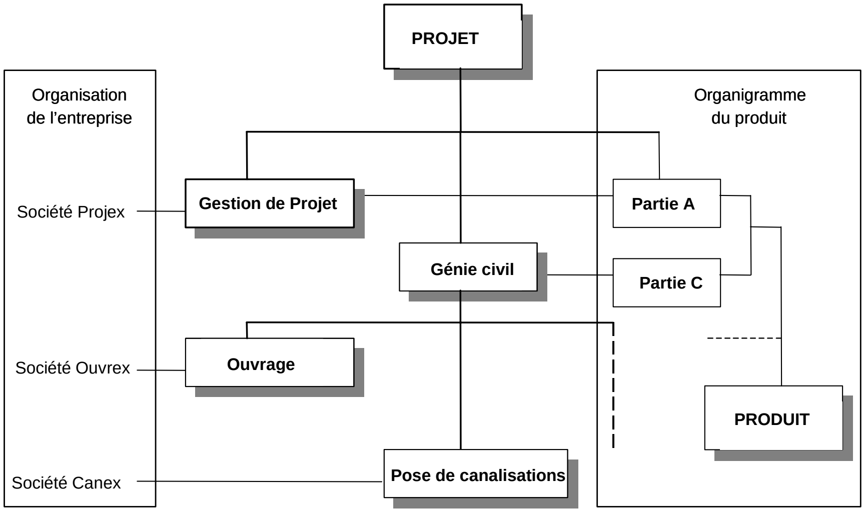


Figure 4.2 Exemple de programme de projet

[32] WBS : *Work Breakdown Structure.*

- **Planning du programme de projet de niveau 1**

À partir du programme de projet, le chef de projet peut proposer un planning de déroulement du projet au niveau des livrables. Le planning prévoit le début et la fin prévisionnelle du projet.

Pour chaque livrable, il s’agit d’estimer la durée et le coût. Dans ce type de planning, il ne s’agit pas de détailler les modules ou les livrables à un niveau de tâches.

- **Estimation du coût du projet**

Deux pratiques sont couramment utilisées :

– On évalue la partie principale du projet par analogie, puis on affecte un coût aux différentes parties secondaires à partir de clés de répartition (par exemple : on estime le branchement d’une pompe à 35 % de son coût d’achat).
– À partir de la décomposition du programme de projet, on estime chaque module du projet et on en fait la somme, c’est la méthode modulaire.

Cette estimation des coûts constitue le budget préliminaire ou de référence. Certaines parties du projet sont corrigées en tenant compte des effets de localisation, d’inflation, des choix technologiques, de contrats internes ou externes… L’objectif de ce budget est de concevoir un plan de financement ou un calcul de prix.

- **Maîtrise des risques**

À chaque phase d’un projet, il est important de recenser, d’évaluer et de maîtriser les risques encourus. Au stade des pré-études du projet, on peut classer les risques en plusieurs catégories :

– **Organisation du projet** : changement d’un ou de plusieurs membres de l’équipe, du chef de projet…, rôle mal défini du chef de projet, mauvaise coordination du projet…
– **Technique du projet** *:* mauvaise évaluation des difficultés techniques (savoir-faire, dimensions, fabrication, mise en œuvre…).
– **Marché** *:* taille du marché, prix de vente, cible, évaluation du besoin…
– **Normes environnement** : sécurité, hygiène…
– **Frais financiers mal évalués** : inflation, estimation du coût, du capital, des garanties, des prêts…, délais de récupération de l’investissement, de rentabilité…

La maîtrise des risques d'un projet s'appuie généralement sur un processus continu et itératif.

Hervé Courtot propose un processus[33] en cinq étapes :

- L'**identification et l'analyse des risques** qui consistent à répertorier et à caractériser, de manière la plus exhaustive possible, tous les événements générateurs de risques pour le projet.
- L'**évaluation et la hiérarchisation des risques** qui consistent à évaluer, pour chacun des risques identifiés, le niveau de criticité, puis à les comparer et les hiérarchiser pour se focaliser sur les risques les plus préjudiciables.
- Le **traitement des risques** qui consiste à définir et à mettre en œuvre un certain nombre d'actions visant soit à les éviter complètement, soit à réduire leur probabilité d'occurrence.
- Le **suivi et le contrôle des risques** qui consistent à mettre à jour la liste des risques encourus, de réévaluer leur criticité et de suivre la mise en œuvre des actions de maîtrise en vérifiant leur efficacité.
- La **capitalisation et la documentation des risques** qui consistent à mémoriser le savoir-faire et les expériences acquises, afin d'établir un catalogue des risques associés au projet.

- **Avant-projet sommaire (APS)**

À l'issue de l'étude de faisabilité, un document appelé APS est rédigé. Ce document est contractuel et précise l'ensemble des objectifs. Certains spécialistes de la gestion de projet parlent de mémoire d'identification[34] ou de formulation technico-économique.

Ce document comprend :

- le rapport de faisabilité,
- la formulation technico-économique (les études préliminaires, les études techniques, financières, de rentabilité, de trésorerie, d'estimation…),
- les objectifs attendus par le projet, les ressources nécessaires, l'organisation du projet, le cahier des charges, les risques encourus, les points critiques du projet, la stratégie de l'entreprise…

---

[33] *Cf.* l'ouvrage *La gestion des risques dans les projets*, Economica, 1998.

[34] Wilson O'Shaughnessy : la faisabilité de projet dans les éditions SMG, Université des 3 rivières, 1992.

L'APS permet :

– d'émettre un avis sur l'intérêt du projet et ses possibilités,
– d'estimer l'effort nécessaire (coût, main-d'œuvre, moyens, délais…),
– d'envisager de poursuivre ou de réaliser une étude approfondie.

4.6 Développement du projet

Trois parties composent le développement du projet : la conception et la planification, la réalisation et la clôture du projet (figure 4.3).

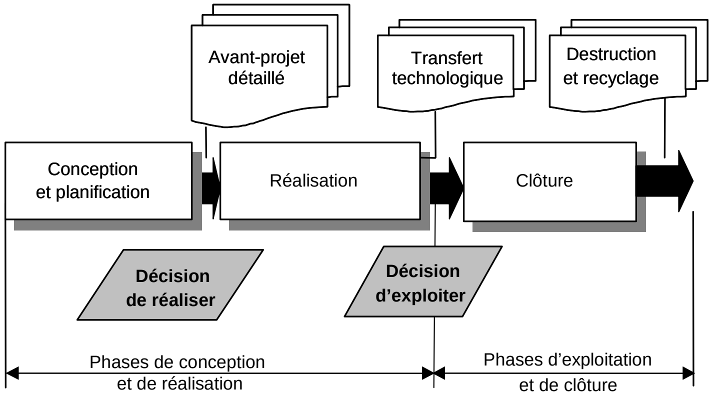


Figure 4.3 Les phases de développement et de réalisation du projet

4.6.1 Conception et planification de projet

Dans cette phase, le chef de projet devra organiser le déroulement prévisionnel du projet en établissant les référentiels des délais et des coûts.

- **Organigramme des tâches du projet**

L'organigramme des tâches du projet (le comment ?) appelé « WBS » (*Work Breakdown Structure*) reprend le programme de projet réalisé au cours des études de faisabilité, il ne doit pas être confondu avec l'organigramme technique. Il se construit d'une manière arborescente, par niveau et tient compte de la structure du produit (le quoi ?) appelé « PBS » (*Product Breakdown Structure*) et de l'organisation de l'entreprise (le qui ?) appelé « OBS » (*Organization Breakdown Structure*), (figure 4.4).

Il s'agit de lister l'ensemble des tâches à réaliser en rapport avec les différentes parties du produit (PBS) à réaliser.

L'organigramme des tâches (WBS) se construit de manière progressive, sous la responsabilité du chef de projet, en collaboration avec son équipe. Les différents intervenants précisent leur besoin (activité, tâche, ou lot de travail) lors de la décomposition du projet.

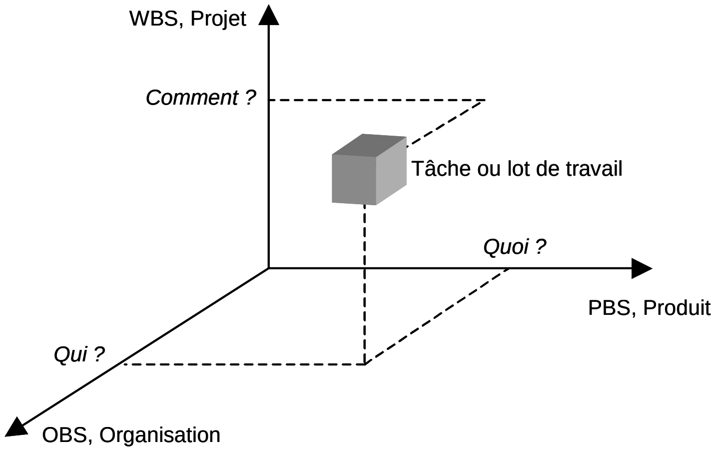


Figure 4.4 Le WBS, l'OBS et le PBS

Les différents intervenants précisent le niveau de détail à atteindre (arborescence), (figure 4.5).

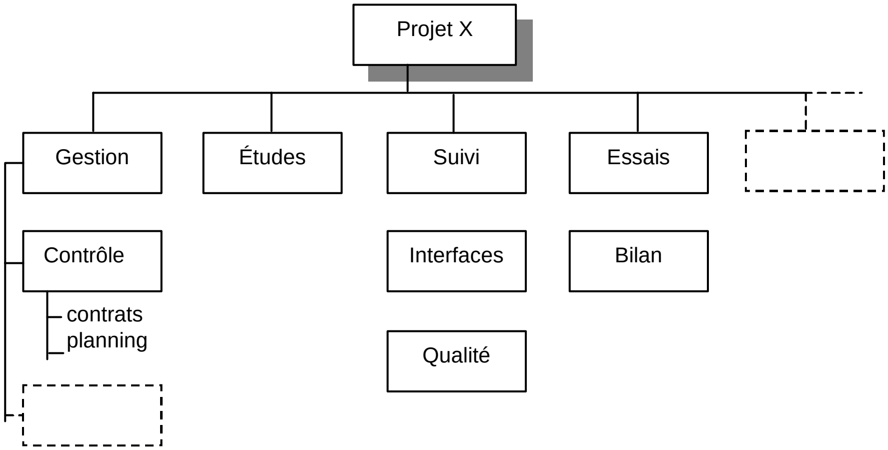


Figure 4.5 Exemple d'organigramme des tâches

C’est un support à la préparation des réseaux de type PERT (*cf.* § 4.7), des plannings des délais, de type GANTT et des budgets prévisionnels (budget initial).

- **Tâche ou lot de travail**

Une tâche ou un lot de travail est l’élément le plus détaillé apparaissant dans l’organigramme des tâches. Chaque tâche décomposée comprendra :

– un code d’identification avec tous les renseignements de la tâche (service concerné, partie du produit, n° de lot, type de paiement…),

– l’estimation du coût et du délai,

– le type de réalisation à effectuer, la responsabilité,

– la date de début et de fin prévisionnelle de la tâche (après la réalisation du GANTT),

– les ressources humaines, matérielles… affectées,

– les liens par rapport aux tâches (antériorités).

- **Différentes contraintes**

L’Afitep définit la tâche comme une action d’une ampleur limitée, appartenant à un métier donné et correspondant généralement à une division de l’activité.

C’est l’élément le plus fin de l’organigramme des tâches. Une tâche Ti de durée (Di), de ressource (Ri) et de coût (Ci) peut avoir plusieurs contraintes[35] :

– Contrainte **d’antériorité**. Si Ti < Tj, la tâche Ti doit être réalisée complètement ou partiellement avant la tâche Tj.

– Contrainte **de localisation temporelle**. Une tâche Ti ne peut débuter avant une date imposée (exemple : outillage non disponible).

– Contrainte **cumulative**. Les ressources doivent être utilisées à une date donnée, sinon elles sont perdues (heures de travail ou d’équipement).

– Contrainte **disjonctive** qui impose la non-réalisation simultanée de deux tâches utilisant la même ressource.

---

[35] *Cf.* l’ouvrage *Gestion de Projets* de Vincent Giard, Economica, 1991.

- **Estimation du délai**

La durée d'une tâche est fonction du travail à effectuer, des ressources affectées, des difficultés, de sa répétitivité ou non… On estime la durée des tâches à partir de méthodes globales ou analogiques.

Généralement, les tâches sont estimées en fonction d'un historique ou de l'expérience acquise. La méthode probabiliste de la méthode PERT peut être utilisée (*cf.* § 4.10).

- **Estimation du coût**

Le coût de chaque tâche représente une ligne budgétaire du projet. Pour l'estimer, des méthodes plus ou moins détaillées sont utilisées avec une précision de l'ordre de 10 à 20 %. Les techniques les plus courantes sont :

– les barèmes spécifiques de prix, les abaques…,

– les coûts horaires,

– les éléments de base : en kg, ml, are…,

– les standards de prix,

– les formules d'estimation des coûts, appelées FEC.

- **Planification prévisionnelle**

À ce stade d'avancement du projet, des méthodes de planification comme le PERT ou les potentiels, par exemple, sont utilisées (*cf.* méthodologie au § 4.7).

Généralement, un réseau est construit pour permettre de calculer les dates (au plus tôt, au plus tard) et les marges résultantes, puis d'identifier le chemin critique. Le résultat est habituellement traduit sous la forme d'un diagramme GANTT.

La disponibilité des ressources est également intégrée à ce niveau, en nivelant si nécessaire la charge de travail pour éviter les manques de capacité.

Des logiciels sont couramment utilisés lors de cette phase (*cf.* § 4.9).

4.6.2 Réalisation du projet

- **Revue de projet**

La mise en place de revues de projet permet de vérifier et de s'assurer que tous les objectifs fixés pour chaque phase sont bien atteints. Un examen critique lors de la revue permet d'engager les actions correctives et préventives en cas d'écarts ou de dérives.

La fréquence des réunions est définie suivant un calendrier établi au niveau du plan directeur de projet. Chaque revue de projet doit être préparée et doit :

– prendre en compte l'avancement du projet, les modifications survenues et à venir,
– définir clairement les objectifs,
– officialiser l'avancement physique du projet en le communiquant à la direction de l'entreprise.

- **Suivi du projet**

D'après la norme NF X 50-106-1, la maîtrise des délais consiste pendant toute la durée du projet à suivre et à optimiser les tâches et les moyens avec l'objectif de respecter le délai prévisionnel fixé. C'est le chef de projet qui assurera cette maîtrise en relation avec le planificateur ou le « **responsable de délais** ».

Au cours du projet, le point d'avancement des tâches doit être fait régulièrement pour s'assurer de la cohérence entre les dates prévues par le planning et les dates réelles de réalisation. Généralement, on utilise un outil visuel et compréhensible par tous, appelé diagramme GANTT.

Un regard plus particulier sera porté sur le chemin critique.

À chaque revue de projet ou de mise à jour, il faut connaître :

– les dates réelles de début et de fin des tâches terminées,
– les modifications de coûts, de délais et de performances prévues pour les tâches en cours ou à venir,
– les problèmes rencontrés,
– les durées restant à couvrir pour achever les activités en cours,
– la réactualisation du « reste à faire ».

Pour suivre l'avancement d'un projet, deux techniques sont utilisées :

– la méthode de la ligne isochrone,
– la méthode de la ligne de référence.

- **Méthode de la ligne isochrone**

Cette méthode permet de visualiser l'état d'avancement du projet à une date donnée. La forme brisée de la ligne précise si la tâche est commencée, en avance ou en retard.

Cette démarche se veut très visuelle et ne demande pas de modifier le GANTT initial. Sur ce graphique (figure 4.6), on peut constater que la tâche B est réalisée à 60 %, A et C à 100 %, D à 40 % et E à 50 %.

- **Méthode de la ligne de référence**

La ligne de référence sépare ce qui devrait être fait (prévu) de ce qui reste à faire (à venir) selon le planning GANTT de référence (figure 4.7). Les tâches terminées sont positionnées entre les dates réelles de début et de fin.

Les tâches en cours sont positionnées à partir de leurs dates réelles de début et leurs dates prévisibles de fin.

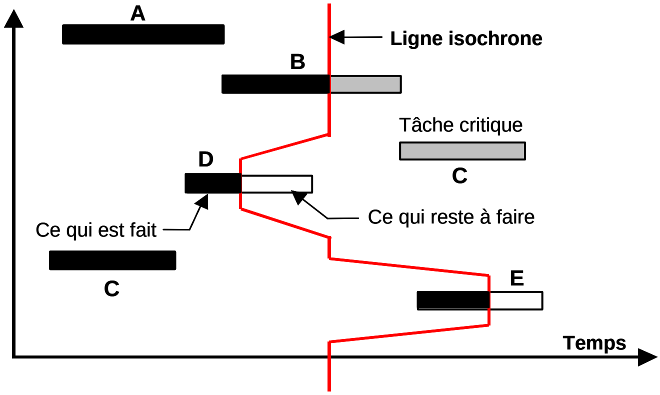


Figure 4.6 Exemple de ligne isochrone

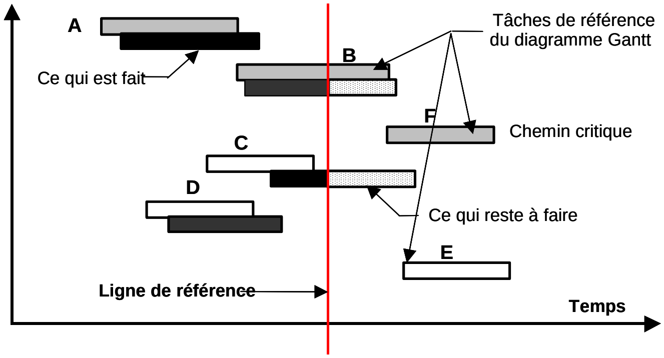


Figure 4.7 Exemple de ligne de référence

4.6.3 Clôture du projet

Lors de la clôture du projet, il s'agit de rappeler les objectifs fixés par le client et d'engager la procédure de clôture. Plusieurs étapes sont nécessaires :

– Réception de l'ouvrage et constat de satisfaction ou non par le client.

– Mise en place des procédures de réception, procès-verbaux avec des réserves pour les finitions ou retouches.

– Remise des documents finaux et des notices d'utilisation de l'ouvrage.

Si cela est mentionné dans le contrat, le maître d'œuvre devra assurer ses engagements comme la formation du personnel, les visites périodiques d'entretien, la fourniture de pièces de rechange…

Tout au long du projet, on engrange des informations indépendantes pour les réutiliser (retour d'expérience). Il s'agit de les rendre interprétables afin de les stocker pour un futur projet. Les données se présentent sous la forme d'historiques, d'incidents rencontrés, des coûts réels… Un processus de capitalisation s'impose afin de structurer toutes les connaissances stockées au cours du projet.

Cette phase d'analyse et de capitalisation des connaissances est primordiale car elle est source de progrès pour fixer plus précisément les coûts et les délais des futurs projets.

Au terme de cette phase de clôture, un bilan complet des coûts, du délai et de la satisfaction du client est réalisé.

4.7 Les méthodes de planification

Les principales méthodes de planification en gestion de projet connues à ce jour sont :

– **La méthode PERT** (*Programm of Evaluation and Review Technic*). Cette méthode créée en 1950 s'appelle aussi « Potentiel étape » ou Arrow Diagram Method (méthode de diagramme fléché). Le diagramme PERT matérialise l'enchaînement des différentes tâches qui constituent le projet. Les étapes sont représentées par des cercles et les tâches par des flèches.

– **La méthode CPM** (*Critical Path Method*). Cette méthode, identique au PERT mais affectée des coûts de réalisation, est appelée PERT-Coût ou *PERT-Cost*. Créée en 1954 par la société Dupont Nemours, elle complète la méthode PERT mais rajoute une relation coût/délai pour optimiser le coût du projet.

– **La méthode des potentiels ou MPM** (méthode des potentiels métra). Créée en 1958 par B. Roy, cette méthode fut développée à l'occasion de la construction du paquebot France. Elle fut complétée au niveau des types de liens par la méthode des Antécédents PDM (*Precedence Diagram Method*).

4.7.1 Construction d'un réseau de type potentiel

À partir de l'exemple suivant, nous présentons les différentes phases de création d'un réseau. Soit un projet à réaliser comprenant sept tâches détaillées selon le tableau ci-après :

Activités	Durée	Antériorités	Effectifs
A	5	/	2
B	15	/	3
C	10	B	1
D	10	A	3
E	10	C, D	1
F	6	C, D	2
G	15	E, F	1

- **Recherche des niveaux du réseau à partir de la matrice des antériorités**

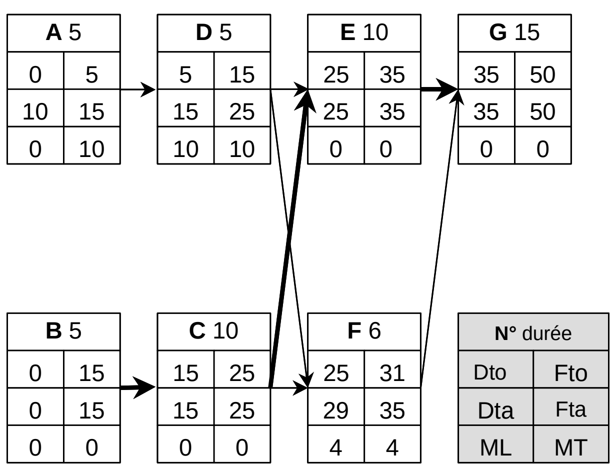
	A	B	C	D	E	F	G	N_1	N_2	N_3	N_4
A								0			
B								0			
C		**X**						1	0		
D	**X**							1	0		
E			**X**	**X**				2	2	0	
F			**X**	**X**				2	2	0	
G					**X**	**X**		2	2	2	0
								A B	**C D**	**E F**	**G**

Il s'agit de rechercher les niveaux du réseau à partir des antériorités de chaque tâche. Après avoir renseigné le tableau des antériorités (placer une croix dans la case correspond à l'antériorité d'une tâche (la tâche D a pour antériorité la tâche A, donc on place une croix « X » dans la case D-A), on additionne par ligne le nombre d'antériorité. Les tâches n'ayant aucune antériorité (0) sont retenues en premier niveau et placées sur le réseau (exemple : A et B). Elles ne sont donc plus considérées dans la matrice (en ligne et en colonne) et le processus se poursuit ainsi jusqu'à terme.

- **Construction du réseau**

Chaque tâche comprend un numéro d'identification, une durée, les dates de début au plus tôt (Dto) et de fin au plus tôt (Fto) et les dates de début au plus tard (Dta) et les dates de fin au plus tard (Fta), les marges libres (ML) et totales (MT).

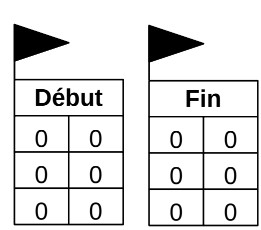
La méthode des potentiels utilise trois types de liaisons auxquelles on peut affecter un délai à respecter, qui peut être positif, nul ou négatif. Ces liaisons sont : fin à début (FD), fin à fin (FF) et début à début (DD). Dans notre exemple, nous utilisons uniquement les dates de fin à début sans délai.



Note :

La méthode des antécédents propose un quatrième type de lien : début à fin (DF).

Elle utilise également des étapes jalons (début et fin) de durée nulle lors de la construction du réseau.



- **Calcul des dates au plus tôt et au plus tard**

Le calcul au plus tôt définit la position des tâches au plus proche de l'origine et le calcul au plus tard définit la position des tâches au plus proche de l'objectif final.

Ces dates ne prennent pas en compte les marges.

Le calcul d'une **date de début au plus tôt** d'une tâche correspond à la fin de la tâche antérieure la plus tardive.

Le calcul d'une **date de fin au plus tôt** d'une tâche correspond à la date de début au plus tôt de cette tâche augmentée de sa durée.

Le calcul d'une **date de fin au plus tard** d'une tâche correspond à la plus petite des dates de début au plus tard des tâches qui la succèdent directement.

Le calcul d'une **date de début au plus tard** d'une tâche correspond à la date de fin au plus tard de cette tâche diminuée de sa durée.

- **Calcul de la marge totale (MT)**

C'est la durée entre la date au plus tard et la date au plus tôt d'une tâche.

Lorsque la marge totale est positive, elle indique le retard maximum que la tâche pourrait prendre sans retarder le jalon de fin de projet (ou autre jalon fixé). Lorsqu'elle est négative, la MT met en évidence le retard que prend le jalon de fin de projet (ou autre jalon fixé).

- **Calcul du Chemin critique**

Le chemin critique est le (ou les) chemin(s) dont la durée est la plus longue entre le début et la fin du projet. Il est composé des tâches qui ont la valeur de la marge totale la plus faible.

La connaissance du chemin critique est fondamentale pour la gestion globale du projet en termes de délai.

- **Calcul de la marge libre (ML)**

La marge libre d'une tâche est le retard qu'elle peut prendre depuis sa position initiale au plus tôt, sans affecter la date au plus tôt de l'une quelconque des tâches suivantes.

La marge libre ne peut être que nulle ou positive, mais jamais négative.

Sur la figure 4.8, la tâche C est positionnée au plus tôt (Cto) et au plus tard (Cta), ce qui donne la marge totale de C (MT_C) calculée comme suit :

$$MT_c = Fto_c - Fta_c = Dto_c - Dta_c$$

On peut observer sur le même graphique la marge libre de A (ML_A) calculée comme suit :

$$ML_A = Dto_F - Fto_A$$

Remarque : Les tâches A, C, F, G, H sont positionnées au plus tôt.

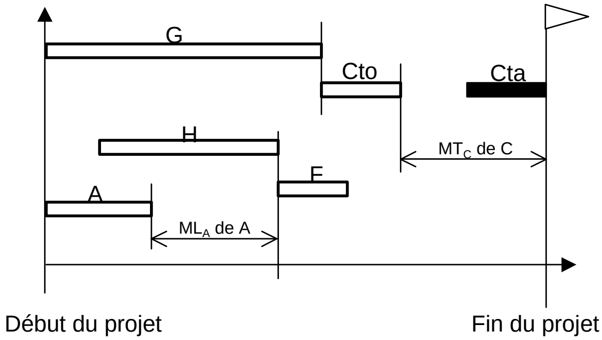


Figure 4.8 Exemple de marges totale et libre

4.7.2 Le diagramme GANTT

Le diagramme GANTT, mis au point en 1885 par Henri L. GANTT, propose une représentation appelée planning, comprenant une liste des tâches en ordonnée et le temps en abscisse.

Chaque tâche est représentée sous forme d'une barre ou d'un segment d'une longueur correspondant à son délai. Cette représentation offre un certain nombre d'avantages comme la compréhension de la lecture, la comparaison entre les dates prévisionnelles et réelles, les affectations des ressources (plan de charge)…

La figure 4.9 représente ces deux types de graphique pour l'exemple présenté au paragraphe 4.7.1

Des relations d'ordre peuvent aussi être représentées sur le planning, appelé alors diagramme GANTT fléché.

D'autres représentations existent comme la méthode PERL créée en 1957 par Charles Auguste Villemain qui s'apparente au diagramme GANTT fléché ou le planning du chemin de fer. Ce dernier, utilisé à l'origine du chemin de fer, permet de définir les horaires et les vitesses des trains. Ce planning est repris pour planifier certains travaux réalisés de manière linéaire en fonction du temps comme la construction de routes, de tunnels…

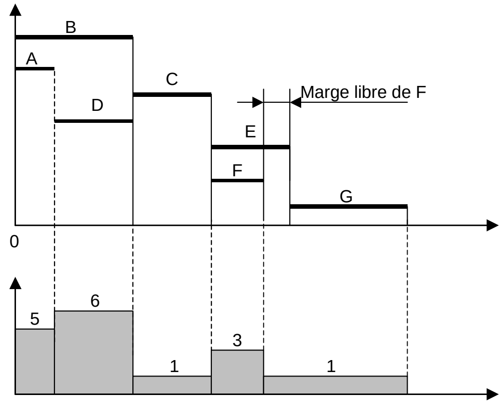


Figure 4.9 Exemples de planning de type GANTT et de profil de charge

4.7.3 PERT-Charge

Le réseau PERT permet de calculer le délai d'un projet sans limitation de ressources (capacité infinie). Cependant, les ressources allouées sont généralement limitées (capacité finie) et la planification doit être nivelée ce qui remet en cause dans certains cas la date de fin du projet global. On parle alors de PERT-Charge lorsque les techniques du nivellement ou du lissage des ressources sont utilisées.

- **Nivellement des ressources**

D'une manière pratique, lorsqu'une tâche ne peut être réalisée à une certaine date en raison d'un manque de ressource, elle est reculée jusqu'au moment où les ressources nécessaires seront disponibles, comme le montre l'exemple figure 4.10 (décalage de la fin du projet au 17e jour). Les marges libres et totales sont utilisées prioritairement et le recours à l'allongement du projet est employé en stade ultime si nécessaire.

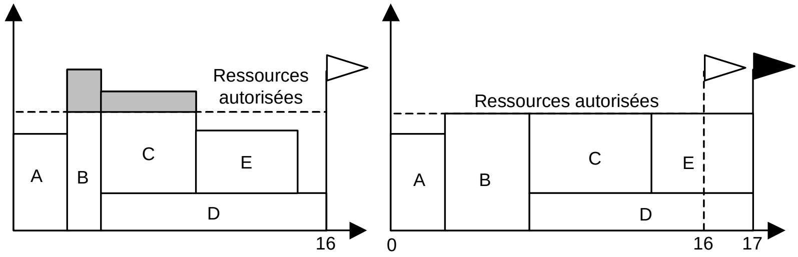


Figure 4.10 Exemple de nivellement des ressources

- **Lissage des ressources**

Le lissage consiste à se rapprocher le plus possible d'un niveau de ressources constant. L'utilisation des marges sera nécessaire et la date de fin du projet n'est pas remise en cause.

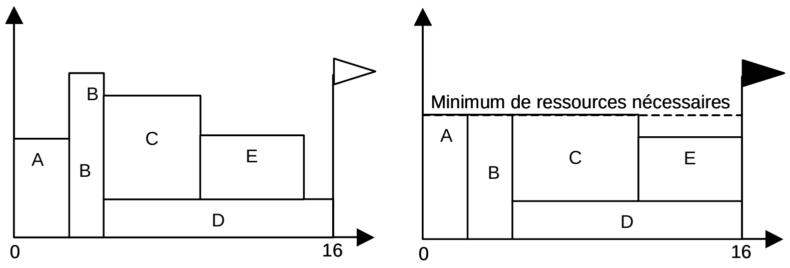


Figure 4.11 Exemple de lissage des ressources

Lors du nivellement ou du lissage des ressources, plusieurs techniques sont employées, comme :

- déplacer la ou les tâches, en amont ou en aval, sans en changer les caractéristiques (utilisation des marges),
- changer l'intensité (I) de la ressource et donc sa durée D. La quantité de travail Q étant constante, on applique la relation D = Q/I, où D : Délai et I : Intensité (exemple : 3 ouvriers par heure).
- soit réaliser la tâche en plusieurs fois (la rendre sécable) pour utiliser les périodes de sous-emploi.

4.8 Maîtrise des coûts

Une fois tracé le planning GANTT, le responsable des coûts, appelé « coûteneur », va calculer le coût budgété du travail prévu (CBTP) du projet. Comme le précise la norme NF X 50-106-1, la maîtrise des coûts[36] ou « coûtenance » est un processus permettant de suivre l'avancement d'un projet de façon à en minimiser le coût et le délai.

[36] Les Anglos-Saxons parlent généralement de « Cost Control » pour connaître l'état des dépenses du projet.

Cette maîtrise des coûts est possible grâce à l'établissement d'un référentiel (budget initial qui devient budget à date), de la mesure des déviations par rapport à l'avancement réel du projet (écarts constatés), de l'analyse des tendances (l'évolution des écarts prévus) et de la proposition d'actions correctrices pour minimiser ces écarts.

4.8.1 Mise en place d'un référentiel de coût : budget initial

Un budget initial est établi en début du projet à partir de l'organigramme des tâches comprenant les lignes budgétaires (LB). Celles-ci comprennent un numéro de code des coûts, une définition technique, une quantité, un montant calculé selon une base économique, une date prévisionnelle de réalisation et une formule de révision de prix.

Le budget initial est la somme de l'estimation détaillée de toutes les lignes budgétaires, des provisions techniques[37], de la provision générale (de l'ordre de 4 à 5 % pour couvrir les événements défavorables) selon les affaires du projet (risques principaux comme : pénalités, inflation, défaillance de sous-traitant, savoir-faire…), des frais généraux ou charges de structure et enfin de la marge brute (figure 4.12).

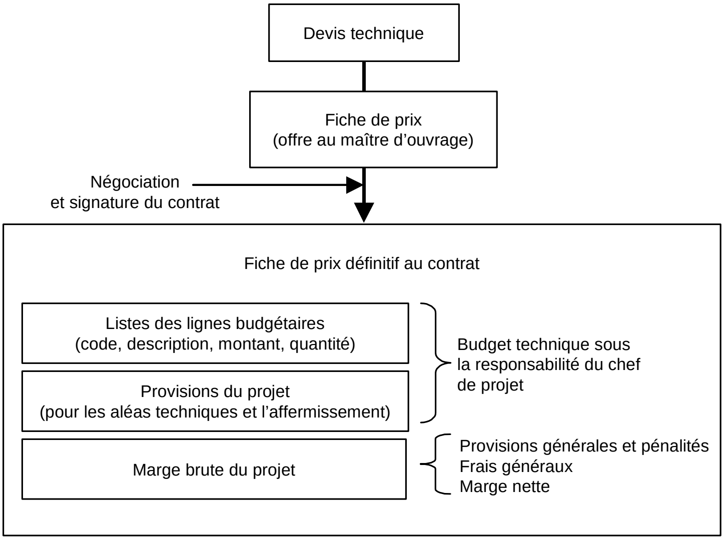


Figure 4.12 Mise en place du budget initial

[37] Les provisions techniques servent à couvrir les aléas techniques dus à l'imprécision d'estimation de coûts à partir des spécifications techniques, aux modifications et à l'effet de glissement.

Le budget initial, assimilable à une autorisation de dépenses, intervient dès la signature du contrat entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre. Ce budget initial n'est modifiable que par un avenant au contrat notifié par le client. On convertit la fiche de prix définitive du contrat en budget initial (prix de vente du contrat).

4.8.2 Budget à date

De l'élaboration du budget initial jusqu'au commencement du projet, des causes multiples de modifications peuvent intervenir : modifications de la part du client, des sous-traitants, des fournisseurs, avenant budgétaire du maître d'ouvrage accepté par le chef de projet, transfert d'une partie des provisions, réaménagement entre les lignes budgétaires.

Toute modification acceptée par le chef de projet peut entraîner une réévaluation du budget initial. On peut également prévoir une marge pour aléas. La source de financement de la modification peut provenir des provisions techniques, de négociations avec le client, de la provision générale, des recettes…

Le budget initial est modifié, il devient budget à date.

Le budget initial comme le budget à date est généralement représenté par une courbe de forme en « S » appelé coût budgété du travail prévu (CBTP). La forme linéaire se situe en général entre l'avancement 10 % et l'avancement 90 % (figure 4.13).

4.9 Suivi de projet et reste à faire

4.9.1 Système d'information de suivi du projet

Après la mise en place du coût budgété du travail prévu (CBTP) du projet, il s'agit pour le coûteneur de recenser toutes les informations nécessaires sur l'évolution du projet d'une manière rapide et complète à des instants précis (jalons) du projet. De nombreux documents sont nécessaires.

- **Les documents d'études de la situation du projet**

Les documents d'étude sont : les contrats, les notes d'organisation, le manuel qualité, le protocole et les procédures de projet, les offres des fournisseurs, la logique de déroulement des tâches pour connaître le coût prévisionnel, les plannings de niveau 1 et 2 pour connaître plus finement les jalons de paiement et d'engagement.

Les documents techniques des équipements principaux et secondaires (plans d'installation, d'implantation…) sont également nécessaires. Ils précisent les quantités ou les poids de matériaux, les spécifications techniques, la liste des équipements, les métrés…

Enfin, les documents d'achat et de marché, comme les offres fournisseurs, les comparatifs d'offre, les commandes de chantier et d'ordres de travaux supplémentaires, les commandes et les avenants…

- **Les documents de relevé d'avancement du projet**

Les feuilles de pointage d'heures, les relevés d'avancement physique, les commandes faites aux fournisseurs et aux sous-traitants, les factures payées, la liste de sortie de matériel, les documents de modification**,** visés par le chef de projet, sont pris en compte afin de les répercuter au niveau du client ou du sous-traitant et des tableaux de bord.

- **Les documents de synthèse et de comparaison**

Ils servent au « coûteneur » pour comparer le prévisionnel (documents d'études de la situation) au réalisé (documents de relevé d'avancement) afin d'en déduire les écarts et de rédiger les différents rapports de coûts (main-d'œuvre, équipements et matériels utilisés, travaux de mise en œuvre…) et de délai du projet en cours.

Les documents de synthèse doivent faire apparaître : les budgets initiaux, les budgets modifiés, le réalisé et le reste à engager.

Ces documents vont contribuer à aider le chef de projet lors de ses prises de décision.

4.9.2 Méthodes d'avancement des travaux d'un projet

Dès le début de la construction du projet, il est nécessaire d'évaluer l'avanement des travaux. Avec l'aide du planificateur, le coûteneur met en place un système de mesure de l'avancement physique des travaux.

Suivant le projet, les tâches élémentaires sont exprimées selon leur nature, en heures pour des études, en euros pour des approvisionnements, en quantité (m^3, ml, t, nombre…) ou valorisées pour des heures de construction. Le principe est de comparer la « consommation réelle » (coût budgété du travail exécuté) avec le budget prévu (CBTP).

L'écart entre ces deux coûts permet de mesurer l'avancement ou le retard du projet en terme de coût ou de délai.

- **L'avancement physique**

L'avancement physique d'une tâche, d'un lot de travaux ou d'un sous-ensemble du projet est le rapport entre le travail effectivement réalisé et le travail total à effectuer.

Avt φ[38] = Travail réalisé/Travail total à effectuer

Prenons l'exemple de la réalisation d'une fondation de 10ml de longueur nécessitant 60 heures de travail.

Après 30 heures de travail, on pourrait en déduire que la tâche est effectuée à 50 %, l'avancement physique Avt φ= 50 %. Or, on constate que la fondation est effectuée sur une longueur de 3 ml et non 5 ml.

L'avancement physique des travaux est de : 3/10 x 100 = 30 %.

Il s'agit maintenant de réactualiser le reste à faire.

Deux possibilités existent :

– On suppose que l'avancement de la fondation à venir sera identique aux 30heures. On a sous-estimé le travail à faire. Donc il faut : 30 h/0,30 = 100 h pour 10 ml, soit 7 ml à faire pour 70 h, si on suppose que le travail de la tâche est proportionnel au temps. Le coût de cette tâche doit être aussi réactualiser en conséquence.

– On suppose à présent que l'avancement de la fondation à venir sera identique à la cadence initiale. On a dépensé 30 heures pour 3 ml réalisé (au lieu de 5 ml). Pour terminer les 7 ml, il faut : (60 h/10 ml) 7 ml = 42 heures.

- **Méthodes d'avancement d'une tâche**

L'avancement cumulé d'une tâche en fonction du temps se représente graphiquement par une courbe en « S ».

Entre 10 % et 90 % d'avancement, on peut considérer le taux d'avancement comme linéaire.

Au-dessus de 90 % et en dessous de 10 %, l'avancement de la tâche n'est pas interprétable. En pratique, selon les cas, on utilise plusieurs méthodes afin de mesurer l'avancement des tâches, tableau 4.1.

---

[38] Les unités d'œuvre sont généralement le ml, m^3, t, nombre de plans… *Cf.* l'ouvrage *Gérez un projet gagnant ! Manuel de coûtenance*, J. Le Bissonnais, M. Joly et J.-.L. G. Muller.

Tableau 4.1 Exemple de techniques d'avancement des tâches

Techniques utilisées	Explications
Unités équivalentes	L'avancement physique est le rapport entre le nombre d'unités physiques produites et le nombre total prévu d'unités à l'instant (t).
Jalons intermédiaires	Il s'agit de prédéterminer des jalons caractéristiques de l'avancement de la tâche, physiquement identifiable. Chaque jalon est affecté d'un pourcentage défini. Ce jalonnement implique un déroulement séquentiel. Le franchissement d'un jalon indique l'avancement de la tâche quel que soit le nombre réel d'heures passées.
Avancement par le reste à faire	Avt φ= Travail réalisé/Travail total ré-estimé à la date t. Il s'agit d'ajouter au nombre d'heures « hommes » réellement dépensées à la date donnée le nombre d'heures hommes estimées pour le reste à faire jusqu'à la fin de l'activité.
Avancement calendaire	C'est le rapport entre le temps déjà écoulé depuis le début de la tâche et la durée totale réévaluée.
Avis de l'avancement de la tâche	Il s'agit de demander au responsable de la tâche étudiée, le temps nécessaire pour la terminer (le « Reste à faire »).
Technique 0/100	Tant que la tâche n'est pas terminée, l'avancement est considéré comme nul. Une fois celle-ci achevée, son avancement est de 100 %. Cette technique convient pour les tâches de très courte durée.
Technique 0/50/100	L'avancement est de 50 % quand la tâche est commencée et de 100 % dès qu'elle est terminée.

4.9.3 Coût budgété du travail effectué et coût réel du travail effectué

Le suivi du déroulement d'un projet en délai et en coût peut être illustré par des courbes d'avancement du projet, initiées par le DoD (*Department of Defense*).

Ces courbes vont permettre au coûteneur de suivre le retard ou l'avance planning, l'écart de performance ou l'écart sur budget (figure 4.13).

- **Les différents coûts utilisés en coûtenance**

Lorsqu'il est question de coût, chaque interlocuteur ne se réfère pas à la même signification. Le comptable parlera de factures payées, l'acheteur de commandes, le financier de la trésorerie…

Tableau 4.2 Les différents types de coûts

Type de Coût	Observations
Coût Défini	Les solutions techniques étant retenues, une estimation de coût est définie.
Engagé	L'engagement de coûts à payer envers les fournisseurs ou le prestataires de service.
Encouru ou réalisé	Les coûts des prestations réellement effectuées à la date considérée. Ils correspondent au coût réel de l'avancement physique des travaux.
Facturé	Les factures arrivent dès que les activités sont totalement terminées.
Payé	Ils correspondent normalement aux coûts facturés et encaissés. Ils peuvent évoluer selon leur situation dans le temps.

- **Coût budgété du travail effectué (CBTE)**

La courbe CBTE se construit au fur et à mesure de l'avancement réel du projet à partir des valeurs acquises. Il s'agit d'une valeur fictive car on ne prend en compte que les coûts budgétés des travaux effectués. Ainsi, cette courbe permet de déduire l'état d'avancement ou de retard du projet en la comparant à la courbe de coût CBTP (coût budgété du travail prévu) (figure 4.13).

- **Coût réel du travail effectué (CRTE)**

Au fur et à mesure de l'avancement du projet, il est nécessaire de mentionner sous forme de courbe les coûts réels dépensés en fonction du temps. Ce sont les coûts encourus du travail réellement réalisé. Ces coûts sont transmis par la comptabilité. Cette courbe permet, à un instant (t) d'avancement du projet, d'évaluer le coût prévisionnel du projet.

À partir de ces trois courbes de coût, CBTP, CBTE et CRTE, il est possible de connaître l'état d'avancement du projet et de mesurer les différents écarts en coûts et en délais entre le réalisé et le prévu.

4.9.4 Retard ou avance de planning

Les courbes CBTP et CBTE permettent de visualiser le retard ou l'avance planning à partir de l'axe temps (figure 4.13). L'écart de délai en coût budgété est mesurable sur l'axe coût.

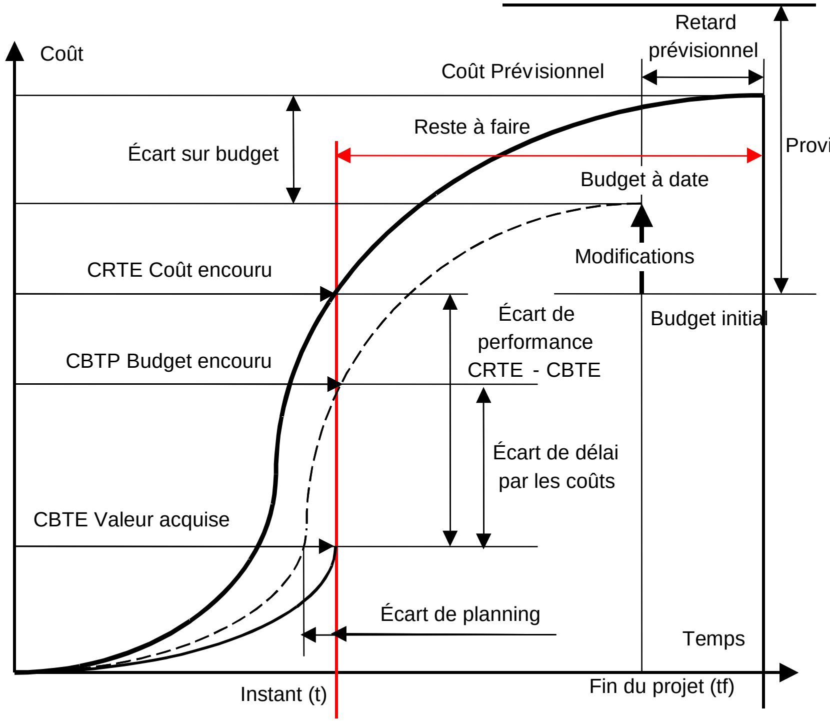


Figure 4.13 Courbes d'avancement de projet

- **Écart de performance**

La comparaison de la courbe CBTE des coûts budgétés du travail effectué du projet au coût réellement payé, courbe CRTE, permet de mesurer l'écart de performance en coût.

- **Écart final en coût et en délai prévisionnel de fin de projet**

À un instant (t), à partir de la courbe CRTE, on estime le reste à faire et on calcule le coût prévisionnel de fin du projet. L'écart final se mesure en coût et en délai (retard prévisionnel) entre la fin du projet initialement prévue et la fin réactualisée.

- **Dérive de projet**

La mesure des écarts entre le CRTE prévisionnel et le CBTP à plusieurs instants (t), (t')…, permet d'évaluer la dérive positive ou négative du projet.

L'observation des dérives est importante pour le coûteneur car elle lui permet de constater si les actions correctives prises à l'occasion d'écarts sont efficaces. Une dérive positive montre que la situation se dégrade, dans le cas contraire la situation se redresse.

4.9.5 Gestion des modifications

Un projet n'est jamais figé d'une manière définitive, des événements en coût et en délai surviennent tout au long du déroulement du projet. Le coûteneur devra compenser ces surcoûts ou les dépassements de délai.

Deux types de modifications sont à prendre en compte :

- **Les corrections ou les adaptations** aux conséquences limitées. Les surcoûts sont couverts par les provisions techniques prévues dans les lignes budgétaires.
- **Les modifications**, non prévues au budget sont traitées selon une procédure spécifique de modification.

C'est le chef de projet qui prend la décision d'engager une procédure de modification avant d'engager **un ordre de modification**. C'est le coûteneur, qui après avoir fait la synthèse des incidences en coûts et en délais, créditera les coûts des modifications sur les lignes budgétaires concernées. Certaines conditions contractuelles du point de vue coûts, délais et garanties sont modifiées à cette occasion.

4.9.6 Le reste à faire et le coût prévisionnel

En résumé, les principales étapes du suivi sont les suivantes :

- Analyse du projet et découpe en lignes budgétaires.
- Enregistrement des travaux réalisés en fonction de leur avancement physique et de leur coût en tenant compte des modifications techniques et des écarts de prix.
- Estimation du coût des travaux restant à faire pour achever le projet dans des conditions définies au cahier des charges.
- Estimation du coût prévisionnel en ajoutant au coût de ce qui a été fait celui qui reste à faire.

- Estimation de la provision technique nécessaire pour couvrir les risques restants, selon leur probabilité d'apparition.
- Comparaison entre le coût prévisionnel final et le budget à date.

4.10 Approche probabilisée

Dans cette approche initiée par Clark en 1962, la durée de la tâche n'est pas fixe mais peut varier de manière aléatoire selon une distribution de probabilité de type β(loi Bêta).

Pour chaque tâche, on définit :

- une durée optimiste (t_o),
- une durée réaliste ou probable (t_r),
- une durée pessimiste (t_p).

Ce qui amène à poser les trois questions suivantes :

- Quelle est la durée minimale ?
- Quelle est la durée maximale ?
- Quelle est la durée la plus probable ?

La forme de la distribution des temps de réalisation d'une tâche permet de déterminer la durée moyenne (t_m) qui servira à calculer les dates et les marges du réseau.

$$t_m = \frac{t_o + 4 \times t_r + t_p}{6}$$

Une fois estimée la durée moyenne de chaque tâche, on calcule pour chacune d'elles la variance.

$$\text{Variance d'une tâche "i"} \, (\sigma_i^2) = \left(\frac{t_p - t_o}{6} \right)^2$$

On admet que la somme des durées aléatoires des tâches tend à suivre une loi normale, définie par :

- La durée moyenne du projet (T_{projet}) correspondant à la somme des durées moyennes des tâches du chemin critique :

$$T_{projet} = \sum_{i=1}^{n} t_{mi}$$

– L'écart type du projet (σ_{projet}) correspondant à la racine carrée de la somme des variances des tâches critiques :

$$\sigma_{projet} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \sigma_i^2}$$

Exemple :

Soit un chemin critique comprenant trois tâches {A, B et C}, dont les différentes durées (optimiste, pessimiste et probable) sont mentionnées dans le tableau ci-dessous.

Tâches	**t_o**	**t_t**	**t_p**	**t_m**	**σ^2**
A	10	14	18	14	1,76
B	6	7	11	7,5	0,69
C	7	9	11	9	0,43
			Somme	30,5	2,88

On obtient les résultats suivants :

– Durée moyenne du projet, T_{projet} = 30,5 jours

– Écart type du projet, $\sigma_{projet} = \sqrt{2{,}88} = 1{,}69$ jours

Si par exemple, on désire connaître la probabilité de terminer le projet en moins de 33 jours, on utilise la table de la loi normale réduite, soit :

$$u = (t_x - t_m)/\sigma_{projet} = (33 - 30{,}5)/1{,}69 = 1{,}48$$

En consultant une table de loi normale réduite, on peut déterminer la probabilité correspondant à cette valeur « u ». La probabilité de terminer le projet en moins de 33 jours est de 93,06 %.

On peut également fixer un délai pour une probabilité donnée.

Par exemple : quel délai fixer à mon client en regard d'une probabilité de 99,86 % ?

La table de la loi normale réduite indique la valeur « u » correspond à cette probabilité, soit u = 3. Le délai à fixer sera de : 30,5 + (3 x 1,69) ≈36 jours.

Note : Une table de loi normale réduite figure dans le § 3.2.10.

4.11 Logiciels et progiciels de gestion de projets

Pour assurer le suivi et le contrôle de la planification, plusieurs progiciels ou logiciels sont proposés aux équipes projets. Parmi les fonctions des logiciels, on trouve :

– la représentation en réseau le plus souvent en formats potentiels,
– la représentation sous forme de GANTT fléché ou non,
– la possibilité de gestion des ressources en nivellement ou en lissage,
– les calendriers individuels ou collectifs des ressources,
– l'histogramme des charges et des ressources,
– la résolution des conflits des ressources,
– le contrôle de l'avancement des travaux et le suivi des coûts,
– les courbes cumulées des coûts (CBTP, CBTE, CRTE),
– L'approche probabilisée.

Le choix du logiciel ou du progiciel dépend du type de fonctions recherchées, du type de projet, de l'ergonomie, de l'esthétique… Les progiciels dépassent la simple fonction de planification et deviennent de plus en plus des outils d'aide à la décision.

Les éditeurs offrent fréquemment une solution collaborative qui permet de communiquer, via Internet, entre tous les acteurs du projet (ce qui favorise le suivi en temps réel et facilite le travail du chef de projet).

On peut estimer à ce jour plus de 160 logiciels[39] ou progiciels en gestion de projet. Les critères principaux de choix d'un logiciel dépendent **:**

– du type de planification, plus au moins rigide, plus ou moins précis,
– des moyens de communication entre les membres du projet,
– du suivi des contrats, du type de gestion financière…,
– de la gestion des compétences et des connaissances,
– des informations diffusées.

À titre d'exemple, quelques progiciels ou logiciels sont mentionnés au tableau suivant.

---

[39] Formation et Industries Services, L'Usine Nouvelle, hors-série, juillet 2000. Revue Informatique n° 1617, 19 janvier 2001.

Microsoft® Office Project 2007	Il est basé sur le système d'exploitation Windows®. Il s'intègre dans la chaîne Microsoft de gestion des connaissances. Quatre secteurs sont couverts : planification des projets, portefeuille de projets, gestion des ressources et travail collaboratif.
PSN Next édité par le Bihan/Scitor	Il propose de puissantes fonctions de gestion de projets adaptées aussi bien à la méthode du chemin critique, au suivi de projet et la gestion de ressources et d'édition par Web, mail ou autres supports. Il excelle dans la gestion simultanée de plusieurs projets interdépendants utilisant des ressources communes.
Sure Track Project Manager	C'est un logiciel de planification et de gestion de projets. Facile d'utilisation, puissant et bon marché. Il est multi-utilisateurs et multi-projets et utilise la méthode du chemin critique. Une aide et des mises à jour permanentes du projet sont prévus.
Primavera Project Planner P3	Le logiciel P3 est reconnu comme l'outil de haut niveau en matière de planification et de contrôle des ressources. Il est entouré des progiciels tels que **Wester** (communication d'information via internet et intranet), **Suretrak** (gestion au niveau du chef de projet) et **Expédition** (gestion des phases préalables à la réalisation).
AMS Realtime Projects Artemis	C'est un outil simple de planification des ressources et de gestion des coûts d'un projet. Avec lui, rapports, milestones et tableaux de bord standards et sur mesure sont possibles. Il offre la possibilité d'intégrer d'autres modules.

Partie II
Les approches modernes

5
La qualité et la certification

5.1 La qualité

5.1.1 Introduction

- **Définitions**

Dans le langage courant, la qualité implique généralement un jugement de valeur, une notion de perfection (qualité d'un travail, produit de qualité…).

Le dictionnaire la définit ainsi : manière d'être, bonne ou mauvaise, d'une chose (exemple : qualité d'une étoffe, d'une terre…), supériorité, excellence en quelque chose (préférer la qualité à la quantité).

La norme française NF X 50-109 de 1979 définissait la qualité ainsi : « Aptitude d'un service ou d'un produit à satisfaire les besoins des utilisateurs ». Cette définition concise et complète (notion de gestion, adéquation entre le produit livré et les besoins exprimés du client) convenait à la plupart des utilisateurs.

Mais en 1986 la France, dans le cadre de l'ISO (*International Standard Organisation*), a retenu pour la qualité la définition suivante : « Ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou d'un service qui confère l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites » (ISO 8402).

La norme ISO 9000:2005 propose la définition suivante : « Aptitude d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques à satisfaire des exigences ».

- **La qualité et les consommateurs**

Les consommateurs achètent suivant des paramètres objectifs ou subjectifs, le tableau suivant en liste quelques-uns à titre d'exemple et de manière non exhaustive.

Paramètres objectifs	Paramètres subjectifs
Rapport qualité/prix Tenue à l'usage Entretien (facilité, fréquence) Résultats de tests comparatifs Coût global de possession …	Prix Image de marque Style, esthétique Lieux de vente Messages publicitaires …

Remarque : Contrairement au rapport qualité/prix, le prix seul n'est pas un paramètre objectif car il doit être comparé aux fonctions assurées par le produit.

La mentalité des consommateurs a évolué depuis les années 1980 et le critère qualité (au sens de la norme) est devenu un facteur prépondérant dans leur décision d'achat. Les organismes de consommateurs œuvrent en ce sens et utilisent des critères de plus en plus objectifs (rapport qualité/prix, coût global de possession, tests comparatifs…).

Dans les années 1980, une enquête américaine relatait les résultats suivants :

– Un client satisfait en parle à 7 personnes.

– Un client insatisfait en parle à 21 personnes.

Il faut donc être attentif aux réflexions des clients (sites Internet et blogs) et les contenter pleinement.

Dans le contexte de concurrence économique sévère, une entreprise qui oublierait ce principe de base disparaîtrait inexorablement car elle ne serait plus compétitive par rapport à ses concurrents.

- **Les enjeux de la qualité**

– Enjeu **commercial** : amélioration de l'image de marque et fidélisation des clients.

– Enjeu **économique** : maintien des entreprises face à la concurrence européenne ou mondiale (suivant les secteurs d'activité).

– Enjeu **social** : accroissement de la motivation du personnel.

- **Historique de la qualité**

Après le premier choc pétrolier de 1973, le monde fut confronté à une crise économique qui n'épargna aucun pays industrialisé (y compris les États-Unis). Le Japon l'affronta avec une relative sérénité, principalement en raison de la qualité de ses produits. Cet événement fut un déclencheur pour les pays industrialisés occidentaux qui envoyèrent de nombreuses missions d'étude au Japon. La qualité et les outils méthodologiques associés ont donc connu un grand développement à partir des années 1980 et ont permis aux entreprises occidentales de progresser en compétitivité.

Avantage stratégique hier, assurer la qualité à ses clients est devenu aujourd'hui le minimum nécessaire pour être (ou rester) présent sur un marché mondialisé à très forte concurrence. Le prix est redevenu un avantage stratégique important pour les entreprises, en plus d'un niveau de qualité exigé (pré-requis auprès des consommateurs). La gestion de la qualité et les méthodologies associées sont donc évidemment toujours d'actualité à ce jour.

Le tableau suivant liste quelques dates principales et contrairement aux idées reçues, les premiers travaux ne datent pas de 1980 !

Dates	Événements
1882	Création du Laboratoire central d'électricité, en France
1901	Création du Laboratoire national d'essai (LNE), en France
1906	Création de la Commission électrotechnique internationale (CEI)
1908	Développement des méthodes statistiques industrielles pour des petits échantillons par Student, en Irlande
1918	Création de la Commission permanente de standardisation (qui sera remplacée par AFNOR en 1926), en France
1920	Invention de l'analyse de la variance et application d'un plan d'expérience statistique en agriculture par Fisher, en Irlande
1924	Création du département Qualité de *Bell Telephone Laboratories* (avec entre autres Shewart, Juran, Deming).
1926	Création d'AFNOR, en France
1928	Cours de formation professionnelle (*Quality Control*) de Juran
1940	Publication des « Military Standards », aux États-Unis (défense)
1942	Formation à la maîtrise de la qualité dans les usines d'armements américaines par Deming et Juran

1946	Création de l'*Américan Society for quality control* (ASQC) aux États-Unis. Création de l'*Union of Japanese Scientists and Engineers* (JUSE) dirigée par Ishikawa, au Japon.
1947	Création de l'*International organization for standardization* (ISO)
1951	Concept du *Total Quality Control* (TQC) lancé par Feigenbaum. Publication par Juran du « Quality Control Handbook ». Mise au point de l'Analyse des modes de défaillances de leur effet et de leur criticité (AMDEC), aux États-Unis Création du prix Deming, au Japon
1955	Diffusion et mise en opérationnel de la carte de contrôle par Ishikawa (créée par Shewart en 1924)
1957	Création de l'Association française pour le contrôle industriel et la qualité (AFCIQ), en France
1959	Publication de la norme militaire américaine sur l'assurance qualité (MIL-Q-9858)
1960	Méthode de l'Analyse de la valeur aux États-Unis
1961	Création de l'Association française des qualiticiens (AFQ)
1971	Publication du « Manuel des Cercles de Qualité » par la JUSE, au Japon,
1974	Création des premiers cercles de qualité américains (à partir des publications d'Ishikawa)
1978	Premiers cercles de qualité chez Citroën et création de l'Association française pour l'analyse de la valeur (AFAV) afin de promouvoir la méthodologie, en France
1980	Publication de la norme française NF X 50-110, sur la gestion de la qualité et présentation des travaux de Deming sur NBC, aux États-Unis
1983	Publication du recueil de normes « Gérer et assurer la qualité » par AFNOR
1987	Création de la série des normes ISO 9000 (évolution en 1994)
1988	Création de l'Association française d'Assurance de la qualité (AFAQ), en France et de l'*European Foundation for Quality Management* (EFQM), au niveau européen
2000	Publication des normes ISO 9000, 9001 et 9004 version 2000
2004	ISO 14001 et 14004 (Systèmes de management environnemental)

5.1.2 La gestion de la qualité

La gestion de la qualité englobe l'ensemble des activités visant à obtenir la qualité dans un cadre de production de biens ou de services.

Pour être efficace, elle doit intervenir à tous les stades du cycle de vie d'un produit, et non pas se limiter à une vision réductrice d'un simple contrôle en fabrication.

La spirale du progrès, fréquemment utilisée en qualité et illustrée en figure 5.1, représente les différents stades de vie du produit tout en évoquant le souci de détecter et de suivre continuellement l'évolution du besoin.

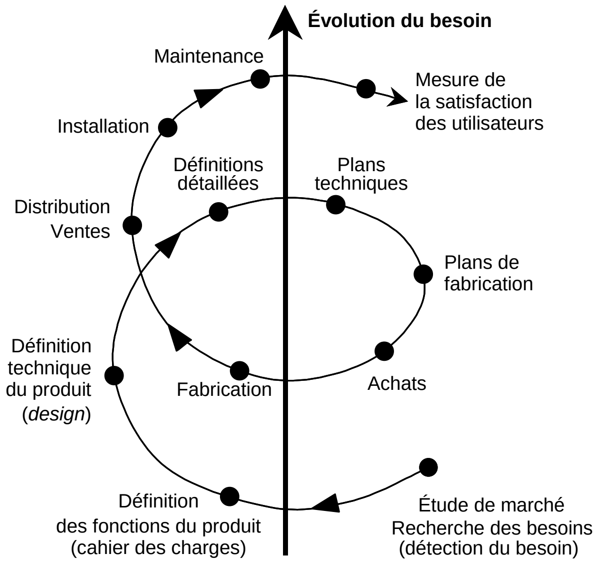


Figure 5.1 La spirale du progrès

Les produits ont un cycle de vie qui va du marketing jusqu'à la casse ou la mort. Les phases de Marketing, Études, Méthodes et Développement sont d'une importance capitale car elles vont contribuer à répondre ou non au besoin du client (détection du besoin, élaboration de procédés, procédures…).

La phase de fin de vie du produit (destruction ou recyclage), non représentée à l'origine sur la spirale, devient également prédominante dans le contexte environnemental actuel. Elle est généralement prise en compte et intégrée dès la phase de conception afin de choisir des solutions techniques compatibles avec les contraintes environnementales.

La norme ISO 9004-1:1994 décrivait le cycle de vie en douze phases :

- Recherche et étude de marché
- Conception et développement
- Planification et développement des processus
- Achats
- Production ou prestations de service
- Vérification
- Conditionnement et stockage
- Vente et distribution
- Installation et mise en service
- Assistance technique et prestations associées
- Après-vente
- Mise au rebut ou recyclage en fin de cycle de vie

Remarque : Le cycle de vie d'un produit ne doit pas être confondu avec sa durée de vie commerciale caractérisée par la courbe suivante, figure 5.2.

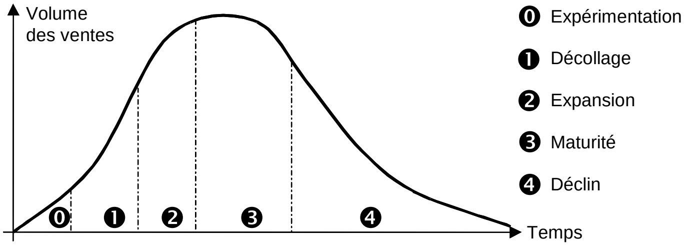


Figure 5.2 La durée de vie commerciale d'un produit

La spirale, présentée précédemment, évoque également la notion de « **progrès permanent** » qui « élève » le niveau de qualité de l'entreprise pour atteindre un objectif d'excellence.

Cette vision d'amélioration permanente fut présente dès l'origine, notamment à travers la « **roue de Deming**[40] » illustrée en figure 5.3.

---

[40] Selon l'APICS l'origine revient à Shewhart qui présenta le concept dans son livre « Statistical Méthod from the Viewpoint of Quality Control ».

Elle traduit les étapes à réaliser afin de maîtriser la qualité. Son nom provient du statisticien William Edwards Deming qui fut stagiaire auprès de Shewart. Ce dernier en collaboration avec Juran avaient développé une méthode, en 1925, à la Société Bell Telephon appelée la « **roue de la qualité** » plus connue sous le nom de « **PDCA** » (*Plan, Do, Check, Act*). En 1950, Deming évoqua cette méthode, alors qu'il était chargé de cours sur les statistiques au Japon.

C'est ainsi que son nom est resté attaché à cet outil malgré le fait que l'industrie japonaise fasse appel en 1954 à Juran (notamment pour les méthodes de déploiement de la qualité).

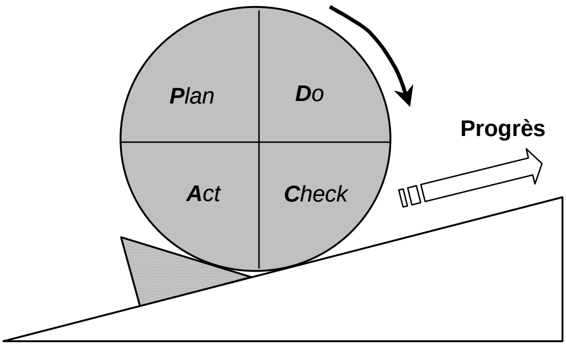


Figure 5.3 La roue de Deming ou roue de la qualité

La méthode PDCA, ou roue de Deming, comporte quatre étapes :

– ***Plan*** (planifier)

  Consiste à planifier l'action d'amélioration après avoir identifié précisément le problème, rechercher les causes et trouver des solutions.

– ***Do*** (faire)

  Concerne le développement, la réalisation des solutions retenues et leur mise en œuvre.

– ***Check*** (vérifier)

  Consiste à vérifier l'efficacité des solutions réalisées généralement à partir d'indicateurs de performance.

– ***Act*** (agir)

  Consiste à corriger ou à améliorer encore les solutions apportées au problème initial ou un déploiement des solutions à d'autres postes. Cette étape peut également amener un nouveau projet d'amélioration.

À chaque « tour de roue », l'entreprise progresse et le système qualité mis en place (audits, système documentaire…), représenté par une cale, évite de « revenir en arrière ».

La gestion de la qualité repose sur le principe de la « maîtrise globale de la qualité » obtenue grâce à une méthodologie qui se traduit par la mise en œuvre d'un programme comprenant plusieurs volets :

– Un engagement personnel de la direction (objectifs, moyens financiers, humains et matériels).
– La mise en œuvre des méthodes de gestion de la qualité.
– L'engagement de la totalité du personnel et une évolution des mentalités (face à ce nouveau concept).
– La prise de conscience des « **4 R** » (retouche, rebut, retour, remboursement) qui engendrent de la non qualité. La non qualité coûte toujours trop cher, il faut la chiffrer pour mieux la réduire.

Plusieurs termes peuvent traduire cette volonté de maîtriser la qualité, deux sont fréquemment utilisés et sont complémentaires :

– **L'assurance de la qualité**

  Elle est définie ainsi par la norme ISO 8402 : « Ensemble des activités préétablies et systématiques mises en œuvre dans le cadre du système qualité, et démontrées en tant que besoin, pour donner la confiance appropriée en ce qu'une entité satisfera aux exigences pour la qualité ».

  La norme ISO 9000:2005-10 la définit ainsi : « Partie du management de la qualité visant à donner confiance en ce que les exigences pour la qualité seront satisfaites. »

  L'analyse et l'identification des relations clients-fournisseurs (à l'interne comme à l'externe) sont fondamentales pour « assurer la qualité » requise. L'assurance qualité a pour but de rassurer le client sur la qualité de la prestation de l'entreprise. Elle se décline sous la forme d'un document écrit, nommé « **manuel d'assurance qualité** » ou « **manuel qualité** » qui définit l'ensemble de la politique qualité de l'entreprise. La publication de la série de normes ISO 9000 en 1987 (révisée en 1994) proposait un cadre lors de la mise en place d'un système d'assurance qualité en fonction des typologies d'entreprises. Ce terme était donc fréquemment employé à partir des années 1980. Il correspond davantage à une perspective à court terme visant la satisfaction du client (respect des spécifications du produit et aptitude à l'emploi).

– **La qualité totale ou TQM** (*Total Quality Management*)

  Ce terme est très largement utilisé en industrie aujourd'hui et traduit une perspective à plus long terme visant la mise en place d'un processus continu d'amélioration afin d'atteindre l'excellence. Il correspond mieux à l'esprit des normes ISO 9000:2000 et fera l'objet du paragraphe suivant (§ 5.1.3).

5.1.3 La qualité totale

Apparu en France dans les années 1985-1986, la notion complexe de qualité totale est la traduction abrégée en français de l'américain *Total Quality Control* (TQC). Appellation créée en 1951 par Armand Feigenbaum, aux États-unis, mais arrivée en France en intégrant la démarche japonaise développée en 1965 : le « **CWQI** » (*Compagny Wide Quality Improvement*). Le CWQI puise son inspiration principalement dans l'ouvrage publié en 1964 par Juran (*Managerial Breakthrought*) dans lequel ce dernier décrit les étapes de déploiement d'une démarche qualité globale. L'historique de la qualité montre bien l'échange international d'idées et explique que plusieurs termes furent employés pour traduire cette démarche qualité.

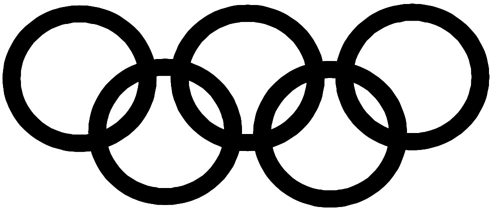
Au-delà des termes utilisés, il est intéressant de remarquer la pertinence de l'approche proposée : en 1966, Juran avait prédit que le Japon (avec une image de produits médiocres à l'époque) deviendrait un champion de la qualité en moins de 20 ans : l'histoire lui a donné raison !

Aujourd'hui le terme TQM (*Total Quality Management*) est largement employé en industrie. L'origine de la TQM se situe également au Japon où un ingénieur de Toyota, Monsieur Taîchi Ohno créa un mode d'organisation appelé « Ohnisme » qui visait principalement à minimiser les pertes (ou gaspillages) par la recherche d'une qualité absolue. Cette organisation correspondait aux contraintes socio-économiques japonaises d'après-guerre et était très différente du « Fordisme » largement présent à l'époque. Aujourd'hui, ce modèle a fait ses preuves et est plus connu sous le nom de « Toyotisme » ou du « système Toyota ».

Les « **5 zéros ou les zéros olympiques**[41] » correspondent à la représentation classique de la qualité totale fréquemment utilisée en France dans les années 85-90 (figure 5.4).

---

[41] Également présents dans le JIT à travers l'élimination des gaspillages listés par Shigéo Shingo, *cf.* Partie II chapitre 6.



Zéro défaut : Tous les produits doivent être conformes aux spécifications requises.

Zéro délai : Tous les produits sont livrés au bon moment: ni trop tôt, ni trop tard.

Zéro stock : On fabrique au bon moment ce dont le client à besoin (juste nécessaire)

Zéro panne : Les machines sont disponibles et les produits fabriqués sont fiables.

Zéro papier : Pas de « paperasse » inutile : valeur ajoutée non vendable.

Remarque : Deux autres « zéros » furent rapidement ajoutés :

Zéro mépris

Zéro problème de sécurité

Figure 5.4 Les zéros olympiques

Les définitions de la qualité totale (ou globale) ne manquent pas. En voici quelques échantillons :

– Réponse globale aux besoins du client.
– Satisfaction des clients internes ou externes.
– Excellence en tout.
– Absence totale de défauts.
– Ensemble de principes et de méthodes, organisés en stratégie globale et visant à mobiliser toute l'entreprise pour obtenir une meilleure satisfaction du client au moindre coût.

  Cette dernière définition semblerait la plus couramment admise.

La norme ISO 8402:1994 en donnait la définition suivante : « Mode de management d'un organisme, centré sur la qualité, basé sur la participation de tous ses membres et visant au succès à long terme par la satisfaction du client et à des avantages pour tous les membres de l'organisme et pour la société ».

Objectifs :

La qualité totale vise à améliorer constamment :

- la qualité des produits,
- la qualité des services,
- la qualité de l'utilisation des ressources humaines et matérielles.

Domaine d'activité :

Elle concerne :

- toutes les fonctions de l'entreprise,
- toutes les activités de l'entreprise,
- tous les collaborateurs, quel que soit leur rang hiérarchique,
- toutes les relations clients/fournisseurs,
- toutes les améliorations, la résolution des problèmes existants, puis la prévention,
- tout le cycle de vie du produit,
- toutes les relations externes (fournisseurs, sous-traitant, partenariat) ou internes,
- tous les marchés : actuels et potentiels.

En résumé :

Qualité totale = Savoir + Savoir-faire + Savoir être

Remarque : Le plus souvent, la non-qualité induite aux différents stades d'élaboration du produit (aux différentes fonctions de l'entreprise) se révèle lors de la fabrication. Il est donc très important de déceler les défauts en fabrication (non-qualité), de les recenser, de les quantifier et d'en analyser les causes réelles (en dépassant le niveau de l'atelier et en remontant aux fonctions de l'entreprise véritablement impliquées), afin d'y apporter des remèdes.

D'après Juran, 20 % des défauts constatés en fabrication sont réellement imputables à l'opérateur.

Pour progresser, le management doit donc créer un climat de confiance auprès des personnes qui ne chercheront plus à masquer leur responsabilité dans la non qualité en s'abritant derrière un coupable idéal : l'opérateur d'atelier (dernier maillon de la chaîne).

5.1.4 Le coût d'obtention de la qualité (COQ) ou la gestion économique de la qualité

- **Idée de départ**

La mise en place d'actions qualité nécessite des indicateurs et des moyens de mesure adaptés aux objectifs et reliés aux indicateurs généraux de l'entreprise.

Naturellement, le suivi des rebuts, des retouches et surtout des retours externes (SAV) constituent la partie visible de l'iceberg d'où l'idée d'un classement en **défaillances internes** (à l'intérieur de l'entreprise) et **défaillances externes** (à l'extérieur, c'est-à-dire chez le client) pour chiffrer le coût des anomalies.

Il convient aussi de considérer en parallèle les dépenses occasionnées par la fonction qualité elle-même (contrôle et prévention).

Ainsi, on peut définir et représenter le COQ comme le montre la figure 5.5 suivante.

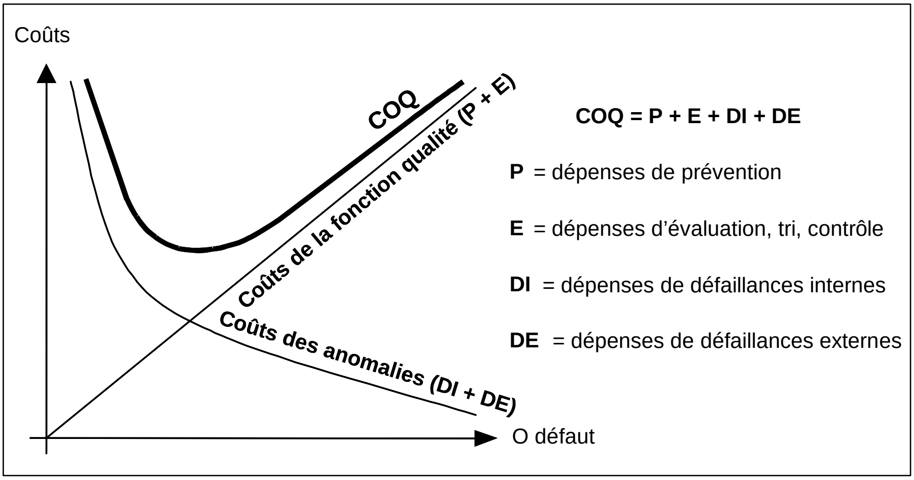


Figure 5.5 Le coût d'obtention de la qualité (COQ)

Remarque : La norme (X 50-126) ou d'autres organismes (comme l'AFCIQ par exemple) proposent une grille détaillée d'aide au chiffrage des différents coûts relatifs au calcul du COQ.

- **Principe et mise en œuvre**

La mise en place d'un tel système se réalise progressivement car la mise en œuvre d'actions conduit à un engagement financier dont on doit assurer le retour sur investissement. On peut remarquer quelques grandes phases :

– Éliminer, en premier lieu, les défaillances externes car elles sont les plus onéreuses et ont un effet très négatif sur l'image de marque de l'entreprise.
– Réduire, en second lieu, les défaillances internes source de gaspillages pour se rapprocher du « Zéro défaut ».
– Prévenir en analysant les processus générateurs de défauts et en les maîtrisant.
– Mettre en œuvre des actions complémentaires (partenariat, formations…).

La grille des COQ peut constituer un moyen de pilotage d'un service qualité, son élaboration doit rester simple et efficace. Une gestion mensuelle constitue, en général, un bon moyen de suivi de la perception clientèle, des progrès par ligne de produits et de l'efficacité des actions envisagées.

5.1.5 La méthode des démérites

La mesure de la non qualité (interne ou externe) et son suivi peuvent également être réalisés par la méthode des démérites.

Son principe est simple et repose sur une pondération des défauts. L'indicateur utilisé dans cette méthodologie offre l'avantage d'être non financier donc plus facilement affichable en atelier et aisément interprétable par les opérateurs qui peuvent ainsi vérifier l'efficacité des actions d'amélioration mises en œuvre.

- **Exemple de principe**

Cas d'une entreprise produisant environ 500 points par jour, équivalent à une moyenne de 50 meubles (valeur moyenne des meubles : 10 points).

Les défauts sont répartis en quatre catégories et pondérés de la manière suivante :

– Défaut secondaire « s » = 100 points
– Défaut mineur « m » = 250 points
– Défaut majeur « M » = 1 000 points
– Défaut critique « C » = 5 000 points

L’indice de démérite « Dm » (journalier) se définit ainsi :

$$\text{Dm} = \frac{\text{Valeur pondérée des défauts de la journée}}{\text{nombre de points produits dans la journée}}$$

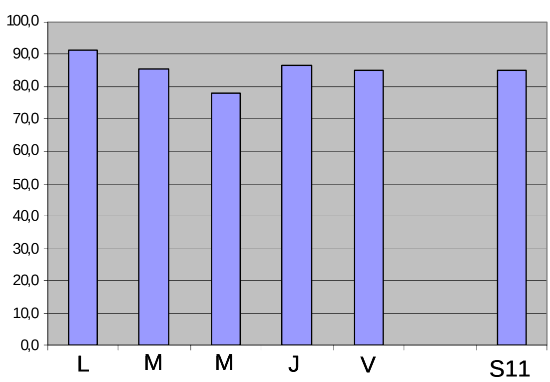
L’indice qualité sera égal à : I = 100 – Dm

Application numérique :

20 défauts secondaires 2 défauts mineurs	$\text{Dm} = \frac{(20 \times 100) + (2 \times 250)}{500} = \frac{2500}{500} = 5$	I = 100 – 5 = 95
40 défauts secondaires 32 défauts mineurs 8 défauts majeurs 1 défaut critique	$\text{Dm} = \frac{25\,000}{500} = 50$	I = 50

L’indice qualité « I » obtenu, s’interprète donc facilement : plus il est proche de 100, meilleure est la qualité (une journée sans défaut donnerait un indice égal à 100).

Un affichage est généralement réalisé au niveau de l’atelier et peut se présenter sous la forme suivante :



S11	Points production	Points défauts	Indice qualité
L	495	4200	91,5
M	510	7500	85,3
M	505	11200	77,8
J	492	6700	86,4
V	602	8900	85,2
Sem	2604	38500	85,2

Historique 3 dernières semaines		
S8	S9	S10
80,2	82,8	83,1

L’opérateur peut facilement interpréter ces résultats et détecter si la situation s’améliore ou se détériore. L’historique peut se traduire également à l’aide d’un graphique (plus visuel).

5.1.6 Les normes ISO en qualité

L'ISO est l'organisme international de normalisation basé à Genève, regroupant 158 représentants d'organisations nationales de normalisation.

Sa mission consiste à produire des normes internationales dans les domaines industriels et commerciaux. Il s'agit du plus grand organisme de normalisation au monde.

- **Série ISO 9000**

Cette série regroupe les normes relatives à la gestion de la qualité et se compose actuellement de trois normes :

– ISO 9000:2005[42] *Systèmes de management de la qualité – Principes essentiels et vocabulaire.*

– ISO 9001:2000 *Systèmes de management de la qualité – Exigences.*

– ISO 9004:2000 *Systèmes de management de la qualité – Lignes directrices pour l'amélioration des performances.*

Seule l'ISO 9001 permet d'obtenir une certification[43] à partir d'un audit réalisé par un organisme agréé.

« L'objet de l'ISO 9001 est d'apporter l'assurance de la qualité du produit et d'accroître la satisfaction des clients, alors que l'ISO 9004 s'appuie sur une perspective plus large du management de la qualité pour donner des conseils sur l'amélioration des performances » (extrait de l'avant-propos de la norme ISO 9004:2000). Elle aide l'entreprise à construire un système qualité basé sur l'amélioration continue dont l'objectif visé est « l'excellence ».

Ces deux normes forment un couple cohérent indiquant des exigences (pour la 9001) et des conseils (pour la 9004) et sont rédigées sous la structure identique suivante :

– Systèmes de management de la qualité.

– Responsabilité de la direction.

– Management des ressources.

– Réalisation du produit.

– Mesures, analyse et amélioration.

---

[42] Millésime de la norme.

[43] *Cf.* Partie II, paragraphe 5.2.

La version 2000 a remplacé les versions de 1987 et 1994 qui étaient davantage rédigées dans l'esprit « assurance qualité ». Elle est plus orientée « qualité totale » avec une orientation client, une approche système et une amélioration continue nettement affirmées.

« La présente norme encourage l'adoption d'une approche processus lors du développement, de la mise en œuvre et de l'amélioration de l'efficacité et de l'efficience d'un système de management de la qualité, afin d'accroître la satisfaction des parties intéressées par le respect de leurs exigences » (ISO 9004:2000).

« **L'approche processus** » désigne l'application d'un système de processus au sein d'un organisme, ainsi que l'identification, les interactions et le management de ces processus (ISO 9004:2000). La norme représente ce modèle de système de management à l'aide de la figure 5.6 suivante.

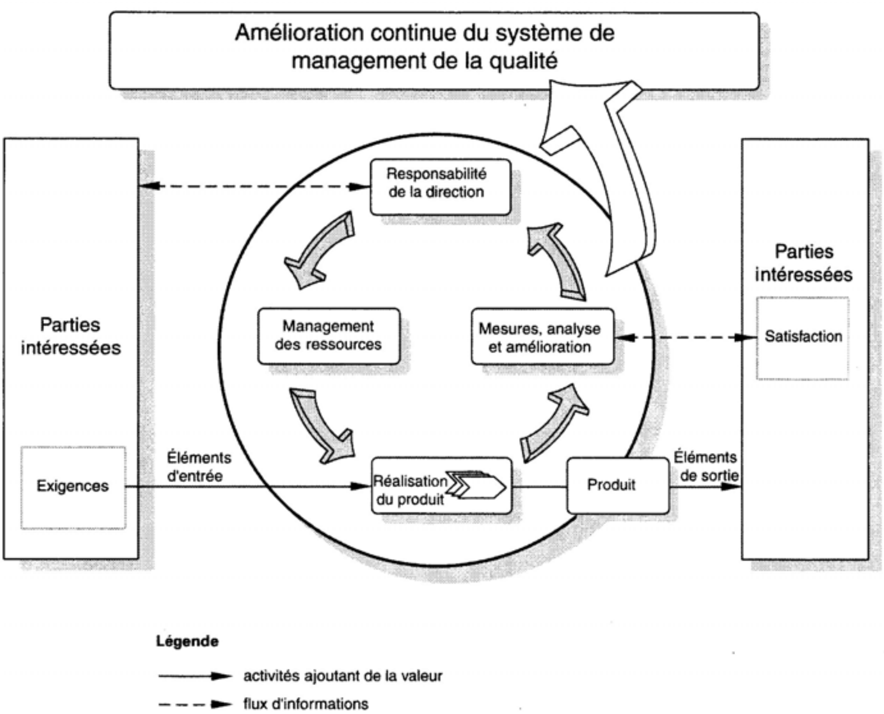


Figure 5.6 Le modèle d'un système de management de la qualité basé sur les processus

(*Source* : ISO 9004:2000)

Lorsqu'elle est utilisée dans un système de management de la qualité, cette approche souligne l'importance :

– de comprendre et de satisfaire les exigences,
– de considérer les processus en termes de valeur ajoutée,
– de mesurer la performance et l'efficacité des processus,
– d'améliorer en permanence les processus sur la base de mesures objectives.

(*Source* : ISO 9004:2000).

- **Série ISO « 14000 »** [44]

Cette série regroupe les normes relatives au management environnemental et s'adresse aux organisations souhaitant mettre en œuvre une gestion qui intègre la maîtrise de l'environnement. À l'image de la série ISO 9000, trois normes principales :

– ISO 14001:2004 *Systèmes de management environnemental – Spécifications et lignes directrices pour son utilisation.*
– ISO 14004:2004 *Systèmes de management environnemental – Lignes directrices générales concernant les principes, les systèmes et les techniques de mise en œuvre*.
– ISO 14050:2002 *Management environnemental – Vocabulaire*.

Complétées par :

– ISO 14015:2001 *Management environnemental – Évaluation de la performance de sites et d'organismes (EESO)*.
– ISO 14031:1999 *Management environnemental – Évaluation de la performance environnementale – Lignes directrices.*
– ISO 14063:2006 *Management environnemental – Communication environnementale – Lignes directrices et exemples.*

Le système de management environnemental (SME)

Il est défini par la norme ISO 14050 comme : « composante du système de management global qui inclut la structure organisationnelle, les activités de planification, les responsabilités, les pratiques, les procédures, les procédés et les ressources pour établir, mettre en œuvre, réaliser, passer en revue et maintenir la politique environnementale ».

---

[44] À ce jour, il n'existe pas de norme portant la référence 14000.

La norme 14001 sert également de référentiel de certification par un organisme agrée (comme pour l'ISO 9001).

- **Les Audits**

L'audit est un processus systématique, indépendant et documenté visant à recueillir des informations objectives afin de vérifier la conformité d'un système à un référentiel.

Il permet de détecter les anomalies et les risques du système audité. La personne qui le réalise est appelée « auditeur ». Très connu dans les domaines de la comptabilité et de la finance, il est devenu fréquent en industrie.

La norme ISO 9000 précise les termes suivants :

– Les audits **internes**, appelés parfois « audit **de première partie** » sont réalisés par, ou au nom, de l'organisme lui-même pour des raisons internes et peuvent constituer la base d'une auto-déclaration de conformité.

– Les audits **externes** comprennent ce que l'on appelle généralement les « audits de seconde ou de tierce partie ».

– Les audits **de seconde partie** sont réalisés par des parties, telles que des clients, ayant un intérêt dans l'organisme, ou par d'autres personnes en leur nom.

– Les audits **de tierce partie** sont réalisés par des organismes externes indépendants.

  De tels organismes, généralement accrédités, fournissent l'enregistrement ou la certification de conformité à des exigences comme celles de l'ISO 9001 ou 14001.

La norme ISO 19011:2002 *Lignes directrices relatives aux audits de systèmes de management de la qualité et/ou de management environnemental* remplace six normes plus anciennes de la série ISO 9000 et 14000.

Elle fixe des lignes directrices pour la conduite d'audits internes ou externes, ainsi que pour le management des programmes d'audit.

Ces nouvelles lignes directrices établissent une approche uniforme pour l'audit des systèmes de management environnemental (SME) et des systèmes de management qualité (SMQ).

En effet, de nombreuses entreprises mettent en place simultanément un SME et un SMQ et souhaitent harmoniser, et si possible combiner, l'audit de ces systèmes respectifs.

5.2 La certification

La certification est une procédure par laquelle une tierce partie, l'organisme certificateur, donne une assurance écrite qu'un système d'organisation, un processus, une personne, un produit ou un service est conforme à des exigences spécifiées dans une norme ou un référentiel. Il s'agit d'un acte volontaire qui peut procurer aux entreprises un avantage concurrentiel et renforcer la relation de confiance avec les clients. Elle est délivrée par des organismes certificateurs indépendants des entreprises et des pouvoirs publics.

La qualité et la certification sont complémentaires, cependant la mise en œuvre d'une démarche qualité n'implique pas nécessairement la recherche d'une certification. La certification, quant à elle, n'est pas forcément un gage de qualité puisqu'elle constate la conformité à des « exigences spécifiées » fixées à un niveau qui ne correspond pas nécessairement aux attentes des consommateurs.

5.2.1 Le marquage CE

Avant de détailler les types de certification, il convient de préciser la signification du marquage CE. **Ce marquage n'est pas une certification** : il est destiné aux services de contrôle du marché, et non pas aux consommateurs.

Il constitue une conformité à la réglementation européenne via les directives européennes de la Nouvelle Approche (DNA) et permet au produit de circuler librement au sein de l'Union européenne. Les DNA rendent obligatoires le respect d'« exigences essentielles », ainsi que l'apposition d'un marquage visuel à l'aide du « logo CE ». Elles renvoient à des normes européennes harmonisées, facultatives, qui traduisent les exigences essentielles en spécifications techniques.

Les conditions d'apposition du marquage CE sont définies dans chaque directive. En fonction de la dangerosité des produits, la procédure varie de la simple attestation de conformité du fabricant (auto-certification) à la vérification par un organisme notifié. Huit degrés d'évaluation existent, appelés « modules d'évaluation de conformité » et nommés de A à H (*JOCE* L220 du 30août 1993).

En résumé, le marquage CE :

– signifie une conformité aux exigences essentielles d'une directive,
– n'indique pas la procédure d'évaluation retenue,
– est apposé par le fabricant sous sa responsabilité,

– donne au produit l'autorisation de libre circulation dans l'Union européenne,
– n'est en aucun cas un sigle de qualité.

5.2.2 La certification de produits

La certification de produits s'intéresse aux caractéristiques techniques, de sécurité et d'aptitude à l'usage mais aussi, depuis quelques années, à l'impact sur l'environnement.

Les certifications produits varient suivant les activités et les pays. Elles reposent sur des essais ou des mesures réalisés par des laboratoires indépendants et accrédités.

La surveillance exercée par l'organisme certificateur donne une valeur à ce type de certification.

Elle peut se traduire, à titre d'exemple, par :

– des prélèvements auprès de commerçants ou de négociants afin de contrôler les caractéristiques du produit certifié,
– des visites d'inspection et d'audits sur les lieux de production,
– des prélèvements sur les lieux de production…

La certification de produits se scinde en deux grandes catégories : les produits industriels et les produits agricoles.

- **Certification de produits industriels**[45]

– La marque **NF**

  Il s'agit de la première marque de certification de produits en France (9 Français sur 10 la connaissent). Elle est aussi bien connue en Europe. Le référentiel de certification est constitué de normes françaises, européennes ou internationales et de spécifications complémentaires.

  La marque NF implique systématiquement l'intervention d'« AFNOR Certification » pour vérifier la conformité du produit à certifier et pour effectuer, à périodicité définie, des contrôles sur le produit et sur l'efficacité de l'organisation qualité de l'entreprise.

---

[45] Liste non exhaustive donnée à titre d'exemples de certification de produits industriels

La marque se décline en trois domaines :

– NF Produits industriels et grand public, créée en 1945.
– NF Environnement, créée en 1991.
– NF Services[46], créée en 1995.

La liste et le détail de ces nombreuses certifications produits sont consultables sur le site www.marque-nf.com.

– La marque **CTB**

Le CTBA (Centre technique du bois et de l'ameublement) est propriétaire de la marque CTB et de ses déclinaisons. Cet organisme a fusionné avec l'Afocel pour devenir FCBA (Forêt Cellulose Bois Ameublement).Les domaines couverts par la marque CTB sont très nombreux (panneaux, structures bois, carrelet lamellé-collé, portes…). Il peut être utile de consulter le site www.fcba.fr.

– Les marques du **CSTB**

Le CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) propose différentes certifications :

– **CSTBat**, atteste de la conformité à l'avis technique des produits innovants.
– **CSTB Certified**, pour les produits de construction et services associés vendus sur le marché européen.

La liste et le détail des certifications sont consultables sur le site www.cstb.fr.

– La marque **Acotherm** atteste des performances thermiques et acoustiques des menuiseries et blocs-baies (elle peut être associée aux marques NF ou CSTBat).
– La marque **Cekal**, concerne les vitrages isolants.
– La marque **Acermi**, concerne les produits d'isolation.
– La marque **LNE**, du Laboratoire national d'essais concerne les emballages et les matériaux d'emballage (détails sur www.lne.fr).
– La marque **ADF** de l'Association française dentaire.

46 *Cf.* paragraphe 5.2.4.

– **La Keymark** (marque de certification européenne) atteste la conformité des produits à des normes européennes afin de répondre aux besoins des entreprises dont le marché est européen. Elle doit être obligatoirement apposée à côté d'une marque de certification nationale délivrée par un organisme certificateur autorisé par le Comité européen de normalisation (CEN).
– **L'écolabel** européen, créé en 1992, est la certification écologique officielle européenne. Il distingue les produits dont l'impact sur l'environnement est réduit.

Cette liste est non exhaustive et bien d'autres marques pourraient être citées.

- **Certification de produits agricoles**[47]

– La marque **NF Agroalimentaire**

Elle apporte une preuve indiscutable que le produit agroalimentaire répond aux besoins du marché et est conforme à des caractéristiques de qualité définies dans un référentiel de certification.

Ce référentiel est constitué de normes françaises, européennes ou internationales élaborées en concertation entre les industriels, les distributeurs, les associations de consommateurs, les laboratoires et les pouvoirs publics. Elles concernent les caractéristiques du produit telles que sa composition, sa régularité, son mode de fabrication…

– **Les labels officiels alimentaires**

Créés par les pouvoirs publics en vue de garantir aux consommateurs des produits de qualité. Attribués par un organisme indépendant des producteurs qui contrôle la conformité du produit à un référentiel (ou cahier des charges).

À titre d'exemple, nous pouvons citer :

– Le **label rouge**, certainement le plus connu des consommateurs, atteste que le produit possède un niveau de qualité supérieure (qualité de la matière première, pureté du produit, élevage, goût…). À son origine en 1960, il ne s'appliquait qu'aux poulets fermiers en réaction à l'utilisation des hormones en élevage. Aujourd'hui, il concerne près de 350 produits (volailles, fruits, légumes, charcuterie, viandes, poissons, produits laitiers…).

[47] Liste non exhaustive donnée à titre d'exemples de certification de produits agricoles.

- Le **label Appellation d'Origine Contrôlée** (AOC) garantit l'origine géographique, les modes de production et de transformation traditionnelle des produits. Au début ce label concernait principalement les vins et spiritueux mais il concerne aussi aujourd'hui le fromage, le beurre, la crème, le poulet de Bresse…
- Le **label Agriculture Biologique** (AB ou BIO), présent sur les emballages ou étiquettes, garantit qu'au moins 95 % des ingrédients sont issus d'un mode de production biologique.

5.2.3 La certification de système de management

- **Certification de système de management de la qualité (SMQ)**

Ce type de certification s'est développé parallèlement à l'évolution de la gestion de la qualité. Elle garantit la conformité du système à un référentiel de management de la qualité.

En 1970, AFNOR lance la certification 3AQ à partir des normes relatives à l'assurance de la qualité.

Mais l'essor de la certification de système de management de la qualité vient en 1987 avec la série de normes ISO 9000 qui proposait trois modèles en fonction des typologies d'entreprise :

- ISO 9003:1987 *Modèle pour l'assurance de la qualité en contrôles et essais finaux,* modèle le plus simple qui concernait principalement les entreprises souhaitant assurer la qualité du produit au stade final (exemple : pétrochimie, traitement de surface…)
- ISO 9002:1987 *Modèle pour l'assurance de la qualité en production, installation* qui concernait plutôt les entreprises travaillant en sous-traitance ou n'ayant pas de bureau d'études.
- ISO 9003:1987 *Modèle pour l'assurance de la qualité en conception, développement, production, installation* qui intégrait en plus de l'ISO 9002 la conception des produits et concernait donc les entreprises qui disposaient d'un bureau d'études ou d'un service recherche et développement.

La certification connut un développement rapide à partir de ces normes, lesquelles obtinrent rapidement une notoriété mondiale. Face à ce succès, la révision de 1994 garda les mêmes référentiels de certification en intégrant quelques contraintes supplémentaires, mais surtout elle décomposa les normes ISO 9000 et ISO 9004 en plusieurs parties plus précises.

La dernière révision de 2000 remodela en profondeur cette série de normes afin de l'orienter davantage vers une démarche qualité totale en visant :

– le recentrage de la démarche qualité sur le client (orientation client),
– un changement d'état d'esprit : privilégier le fond (efficacité du système de management de la qualité) à la forme (conformité à des procédures),
– l'adaptation de la série à toutes les catégories de produits et à toutes les tailles d'entreprises,
– la réduction du nombre de normes de la série (un seul référentiel de certification),
– le regroupement des guides concernant le management de la qualité sous une seule norme,
– l'amélioration de la lisibilité (faciliter la compréhension des textes sans être obligé de faire appel à des spécialistes) et la réduction du nombre de chapitres (simplification).

Il ressort de cette phase les trois normes présentées en § 5.1.6 :

– ISO 9000 (principes et vocabulaire).
– ISO 9001 (exigences), référentiel unique de certification.
– ISO 9004 (lignes directrices pour l'amélioration des performances).

La certification ISO 9001:2000 d'une entreprise garantit que son système de management de la qualité est fondé sur des principes dont « l'approche processus » et « l'orientation client » sont les plus importants (qualité totale).

C'est avant tout un outil de confiance entre clients et fournisseurs.

D'autres référentiels de certification SMQ existent en fonction des secteurs d'activité. Par exemple : les constructeurs automobiles français, allemands, italiens et américains sous l'impulsion de l'IATF (*International Automotive Task Force*) ont harmonisé leurs anciennes normes (EAQF, VDA 6.1, AVSQ et QS 9000) au travers d'un nouveau référentiel : l'**ISO/TS 16949**.

L'industrie aéronautique s'est dotée d'un outil commun d'évaluation et de qualification de leurs fournisseurs : le référentiel **EN/AS/JISQ 9100**.

- **Certification de système de management de l'environnement (SME)**

Un système de management environnemental couvre l'ensemble des méthodologies de gestion et d'organisation intégrant systématiquement l'évaluation et la réduction de l'impact des activités d'une entreprise sur l'environnement.

La certification ISO 14001 permet à une entreprise de faire attester la conformité de sa politique et de ses processus aux exigences relatives à l'élaboration, la mise en œuvre, la maintenance et l'évaluation d'un système de management environnemental. Le référentiel ISO 14001 de cette certification est basé sur le principe de l'amélioration continue. Il a pour objectif de vérifier et de maîtriser les aspects environnementaux et de préciser le système de pilotage.

La mise en place d'un SME comporte de multiples avantages comme :

- l'amélioration de l'image de marque,
- une démarcation stratégique par rapport à la concurrence,
- une meilleure maîtrise des coûts liés à l'environnement (déchets, consommation en ressources naturelles et énergie),
- une anticipation de l'évolution des lois et des règlements.

La réalisation d'un SME peut être progressive. Une entreprise peut suivre le référentiel « SME par étapes » décomposé en trois niveaux et obtenir à terme une certification ISO 14001 dans un délai de deux à six ans.

Le règlement EMAS (*Eco Management and Audit Scheme*) ou éco-audit est un règlement européen visant à cadrer les démarches volontaires d'écomanagement utilisant un SME. Créé en 1995 et révisé en 2002 et 2004, EMAS intègre entièrement les exigences de la norme ISO 14001 et s'en distingue par l'obligation de communiquer les objectifs fixés et les résultats obtenus. Toute entreprise déjà certifiée ISO 14001 obtient un certificat EMAS à condition de publier une déclaration environnementale (transparente et non technique, afin d'être accessible à tout public, sous format papier ou via Internet).

- **Autres certifications de système de management**

En plus des certifications SMQ et SME très connues et évoquées précédemment, s'ajoutent de manière non exhaustive :

- La certification du management de la santé et de la sécurité au travail suivant les référentiels **OHSAS 18001** ou **ILO-OSH 2001** (développé par le Bureau international du travail).
- La certification des systèmes de management Qualité - Sécurité -Environnement (QSE). Cette certification concerne les entreprises ou les organismes qui ont engagé une démarche d'intégration, dans un système de management unique, des composantes qualité et/ou environnement et/ou sécurité.

Aujourd'hui, la compatibilité des référentiels de certification (ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 et ILO-OSH 2001) permet ce type de démarche qui risque de se développer à l'avenir.

– La certification du système de management de la sécurité des denrées alimentaires (**ISO 22000 Agroalimentaire**).

5.2.4 La certification de services

La certification de services a pour objectif de définir et de faire reconnaître les engagements qualité d'un organisme vis-à-vis de ses clients/utilisateurs.

À la différence de la certification ISO 9001 qui utilise une norme générique à tous les domaines d'activités, la certification de services utilise un référentiel spécifique à une profession.

À titre d'exemples, nous pouvons citer :

– La marque **NF Service**

  Cette marque s'appuie sur les exigences de qualité, sécurité, fiabilité, performances décrites dans des normes françaises, européennes et internationales élaborées en concertation avec les prestataires de service, les associations de consommateurs et les pouvoirs publics.

  L'activité de déménagement, la formation professionnelle, les services de transport font partie des nombreux secteurs présents dans le cadre de cette marque (la liste détaillée est consultable sur le site mentionné précédemment).

– Les **certifications AFAQ**, se déclinent sous deux formes :

  – **AFAQ Engagement de services** (AES), pour les entreprises orientées clients. Il s'agit d'un référentiel personnalisé pour faire ressortir les atouts concurrentiels. Cette certification constitue une étape de la stratégie de fidélisation et de développement de clientèle. Elle concerne les entreprises en réseau (franchisés, agences, succursales…), du secteur des services, notamment les services aux particuliers : restauration, distribution, banque, assurance, transport, santé, services publics…

  – **AFAQ Service Confiance** (ASC) pour les organisations professionnelles, comme par exemple : hôtellerie (Hotelcert®), municipalité (Qualiville), les sites de e-commerce (Webcert®)…

  La liste de tous les référentiels AFAQ certification de services publiés au JO est consultable sur le site www.afaq.org.

– La marque **CSTBat Service**

  Elle atteste de la conformité à des spécifications techniques d'une prestation liée à la mise en œuvre ou à la maintenance d'un produit ou d'un procédé faisant l'objet d'un « avis technique » ou d'un « agrément technique européen ».

5.2.5 La certification de personnel

La certification de personnel concerne des types d'activité bien définis.

Elle atteste la compétence de professionnels pour accomplir des tâches déterminées au regard de critères préétablis.

Elle vise à fournir aux clients une base d'appréciation plus objective sur la qualification professionnelle des individus.

Elle se décompose généralement en trois points :

– l'acquisition de la qualification (mise en œuvre des connaissances),
– la certification via un certificat ou un diplôme,
– l'autorisation d'exercer.

À titre d'exemples, nous pouvons citer :

– La **certification AFAQ Compétences** concerne plus particulièrement les métiers de la qualité : responsable qualité/environnement, formateur en radioprotection… Cette certification valide des parcours de formation qualifiante, ainsi que des acquis de l'expérience professionnelle.
– La **certification AFNOR Compétences**, plus particulièrement adaptée aux métiers techniques, a la particularité de certifier des exigences de compétence qui sont décrites dans des normes françaises, européennes et internationales.
– La **certification d'auditeurs ICA** (Institut de certification des auditeurs), afin de valider les compétences relatives à l'audit tierce partie.
– **CSTB COMPÉTENCE®**, certification pour les experts construction délivrée par l'organisme CertiVéA, filiale certification des acteurs et des ouvrages du groupe CSTB.
– **L'APICS** (*Américan Production and Inventory Control Society*) propose différentes certifications en gestion industrielle (CPIM, BSCM, CIRM…), en France, ces certifications sont proposées exclusivement par la Société MGCM (coordonnées indiquées en bibliographie).

- **L'AFITEP** (Association francophone de management de projet) propose des certifications de chef de projet ou de directeur de projets (se reporter au site www.afitep.fr).
- **L'AFAV** (Association française d'analyse de la valeur) propose des certifications en analyse de la valeur (se reporter au site www.afav.fr).

6
Le « Just In Time » et la méthode Kanban

Le JIT apparaît en Occident et notamment en France dans les années 70, suite aux performances de certaines entreprises automobiles japonaises et plus particulièrement dans les ateliers du constructeur Toyota[48].

Les concepteurs du JIT sont Taiichi Ohno et Shigeo Shingo.

Le terme « Just In Time » traduit d'une part la volonté de ne fabriquer que le besoin (le « juste nécessaire ») et d'autre part de lancer en production au moment opportun, compte tenu du délai d'obtention (c'est-à-dire ni trop tôt ni trop tard).

6.1 Définitions

D'un auteur à un autre, il existe de nombreuses définitions du terme « Just In Time ».

---

48 Les premières actions furent entreprises dans les années 50 dans le but de fabriquer des produits de qualité.

6.1.1 Juste à temps

Cette traduction littérale française présente l'inconvénient de n'impliquer souvent qu'une notion de délai et sous-entend l'idée de « à la dernière minute » ou de « presque en retard ».

6.1.2 Zéro stock

Au début des années 70, l'APICS[49] reprend les principes développés chez Toyota en instaurant le « zéro stock ». Il s'agit de réduire les stocks d'une manière continue. Le risque est de n'en retenir qu'une vision réductrice en oubliant les actions d'amélioration nécessaires pour pouvoir le faire.

6.1.3 Les cinq zéros

Zéro stock, zéro défaut, zéro délai, zéro panne et zéro papier. La démarche est similaire à la précédente et présente le même danger de vision réductrice. Elle reste utopiste.

6.1.4 Production en flux tendus

Le terme est souvent employé dans l'industrie de masse comme l'automobile, l'électronique et l'électroménager. On associe généralement le principe de flux tendus au concept de réactivité dans les entreprises. Ce terme est souvent mal perçu dans l'opinion, en raison de grèves passées et des conséquences au niveau du service client.

6.1.5 La production au plus juste

C'est la traduction de l'expression américaine « Lean production[50] ». Pour l'APICS, c'est une philosophie de production qui vise à la réduction de toutes formes de gaspillage au sein des ressources utilisées lors des différentes activités de l'entreprise. Elle implique l'identification et l'élimination des activités à non valeur ajoutée et présente une vision globale de l'entreprise incluant toutes les fonctions.

---

49 *American Production and Inventory Control Society*.

50 La démarche a été définie à la suite d'une recherche du MIT (*Massachussets Institue of Technology*) portant sur une étude des industries automobiles américaines et japonaises.

6.1.6 La suppression des gaspillages

C'est l'élimination de toutes les formes de gaspillage (temps, énergie, papier, matière première…). Cette notion correspond à la vision moderne de la gestion industrielle qui tend à éliminer de façon systématique tous les gaspillages et à rechercher une amélioration continue de la productivité et de la qualité.

6.2 Approches

Selon René Colin[51], trois approches respectueuses du concept « Just in time » peuvent être développées :

- la réduction des cycles de fabrication et administratifs,
- la réduction des gaspillages,
- l'élimination des causes de rupture de flux.

6.2.1 Approche par la réduction des cycles

Le cycle de l'entreprise représente l'intervalle de temps entre la demande du client et la livraison du produit au client. Le client étant la seule source de revenu de l'entreprise, son insatisfaction peut, à terme, la mettre en difficulté financière, voire menacer son existence.

On peut identifier deux grands types de cycle dans le but de les réduire.

- **Les cycles de fabrication, de transport, de contrôle et de stockage**

  Ils correspondent généralement à la durée comprise entre la sortie de la matière première des magasins et l'expédition des produits finis. Ces cycles sont générateurs d'immobilisations ou de dépenses (les en-cours). Ils contribuent à la valeur ajoutée sur les produits. L'approche classique a toujours été de réduire ces cycles au niveau de la production (SMED, TPM, 5S…).

- **Les cycles administratifs**

  Ce sont les activités de gestion. La valeur ajoutée est moins visible. Ces cycles sont générateurs de dépenses indirectes ou futures et comportent des tâches de conception, d'industrialisation, d'achat et de lancement des produits.

---

[51] *Cf.* l'ouvrage *Produire juste à temps en petites séries*, de René. Colin, MGCM Paris.

Réduire ces cycles devient un enjeu pour l'entreprise. C'est un bon indicateur de performance. Raymond et Stéphanie Biteau, dans leur ouvrage[52] proposent deux ratios permettant d'évaluer le niveau de performance de ces cycles :

– **Le ratio d'incertitude (Ri)**

  C'est le rapport entre l'horizon de production (HP) et de l'horizon commercial connu par la production (HCcp, dès l'information connue sur la commande et la mise à disposition du produit fini).

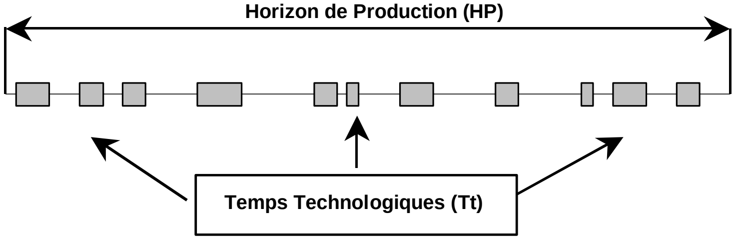
  Ri = HP/HCcp

  Si Ri > 1, la fabrication se fait par anticipation.

  Si Ri < 1, la fabrication se fait à la commande.

– **Le ratio de tension des flux (Rtf)**

  Appelé aussi **ratio de fluidité**, il permet de mesurer l'efficacité des temps constituant l'horizon de production.



$$Rtf = \frac{HP}{\sum Tt}$$

C'est le rapport entre l'horizon de production et la somme des temps technologiques (Rtf).

L'objectif est d'obtenir un ratio le plus proche possible de 1.

$$R = \frac{\sum Tt}{HP}$$

Certains auteurs définissent le ratio de fluidité de façon inverse (R).

Dans les industries de type « job-shop », les ratios peuvent être de l'ordre de 5 %. Ce qui signifie que plus de 95 % du temps passé en fabrication pour un produit est constitué par des attentes.

---

[52] *Maîtriser les flux industriels, les outils d'analyse*, Éditions d'Organisation, 1998.

6.2.2 Approche par la réduction des gaspillages

Matière
Valeur ajoutée utile (vendable)
Valeur ajoutée inutile (non vendable) 1. Surproduction 2. Attentes 3. Transports 4. Processus 5. Mouvements 6. Non qualité 7. Stocks

Le gaspillage peut être défini comme étant « toute opération sans valeur ajoutée pour le produit ». L'APICS définit la valeur ajoutée, du point de vue du client, comme l'accroissement réellement utile de la valeur du produit lors de sa transformation de l'état initial à l'état final.

On emploie aussi le mot de « déperdition » en parlant de gaspillage. Pourévaluer ce phénomène, on peut utiliser la méthode dite « analyse de gaspillage ou de déperdition[53] ».

Shigeo Shingo, initiateur du « Toyota Production System » recense sept formes de gaspillage vues par Toyota. Par rapprochement avec la notion de valeur ajoutée, toutes ces formes de gaspillage peuvent être considérées comme de la valeur ajoutée inutile (*cf.* ci-contre).

Tous ces gaspillages doivent être éliminés dans le cadre du juste à temps.

Commentaires :

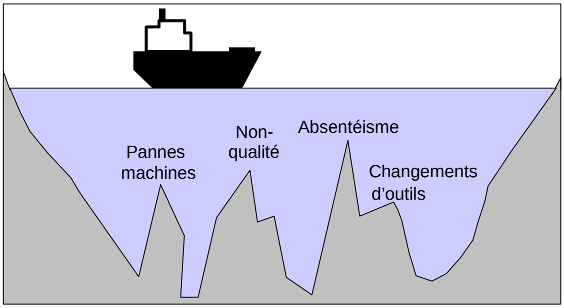
- ***Surproduction*** : désigne la crainte de manquer de pièces, alors on produit davantage.
- ***Attente*** : désigne une période de non-production où le produit est stoppé et la main-d'œuvre inutilisée.
- ***Transports*** : ils peuvent engendrer un coût supplémentaire et n'apportent pas de valeur ajoutée au produit.
- ***Processus*** : mal adaptés au travail à effectuer, ils peuvent engendrer du gaspillage.
- ***Mouvements*** : liés au poste, qui sont inutiles ou superflus, ils sont source de gaspillage.
- ***Non qualité*** : la mise au rebut correspond au gaspillage par excellence. Différentes techniques, centrées sur la qualité (SPC, résolution de problèmes…) sont mises en œuvre pour faire diminuer la non qualité.

---

[53] *Cf.* Partie III, paragraphe 9.12.

– ***Stocks*** : ils représentent les gaspillages les plus fréquemment évoqués en « JIT ». Le fait d'avoir en stock plus que ce qui est absolument nécessaire est considéré comme gaspillage. Ces stocks « parasites » sont souvent la réponse apportée par l'entreprise pour se garantir des dysfonctionnements et assurer la continuité de la production. Il faut donc travailler à la réduction progressive des dysfonctionnements pour pouvoir réduire progressivement le niveau des stocks et non pas diminuer de manière autoritaire les stocks sans remédier aux causes qui les provoquent.

Les Japonais ont l'habitude d'utiliser l'image d'un bateau sur l'eau pour expliquer leur démarche. Le niveau d'eau représente les stocks nécessaires pour faire face aux dysfonctionnements.



Une baisse lente du niveau permet de faire émerger un dysfonctionnement. La recherche des causes, pratiquée le plus souvent au sein d'un groupe de travail, permet de rechercher des solutions appropriées pour réduire ou supprimer ce dysfonctionnement. La baisse des stocks peut alors se poursuivre jusqu'à l'apparition d'un nouveau problème qui déclenchera la même méthodologie de résolution.

Le processus d'amélioration est donc permanent et continu. Cette approche conduit à progresser sur plusieurs domaines à la fois plutôt que de rechercher une performance sur un seul, sans grande efficacité au niveau du système global.

6.2.3 Approche par l'élimination des causes de rupture de flux

Cette approche consiste à repérer toutes les ruptures de flux et à en rechercher les causes pour les éliminer. L'objectif principal consiste à viser un bon écoulement du flux, afin de terminer rapidement les produits ou les pièces, les expédier et générer des recettes.

Il faut donc voir la production en termes de flux, c'est-à-dire d'avancement des fabrications, et non pas en termes d'activité humaine ou de machines.

Deux familles de causes de rupture de flux sont généralement identifiées : les causes aléatoires liées directement au flux et les causes liées aux activités indispensables du flux.

- **Les causes aléatoires**

– Files d'attente au poste.
– Éléments ou pièces manquant en ligne.
– Pannes de machines.
– Indisponibilité des outillages.
– Informations insuffisantes.
– Absentéisme du personnel.
– Rebuts et retouches.
– Attentes de décision (par exemple : en cas de non-acceptation par le contrôle).
– Changements de programme de fabrication (par exemple : changement de priorités).

- **Les causes liées aux activités**

– Contrôle des pièces.
– Procédures de suivi de fabrication.
– Immobilisations en stock (entrées/sorties du magasin).
– Transports et manutentions.

6.3 Modifications organisationnelles et comportementales liées au JIT

Le JIT est une démarche globale qui agit sur l'ensemble des facteurs de non-performance. Elle doit être mise en œuvre dans tous les domaines de l'entreprise à différents niveaux.

Le JIT ne se réduit pas à l'application de quelques techniques mais implique un bouleversement complet et en profondeur de toute l'entreprise.

6.3.1 Au niveau des commerciaux

Leur mission ne se limite plus à vendre, mais s'élargit suivant deux orientations : satisfaire pleinement le client et intégrer les contraintes de production.

- **La satisfaction du client**

Il faut évaluer les besoins des clients, tant sur le plan qualitatif que quantitatif, mieux connaître l'utilisation des produits livrés et détecter le plus rapidement possible les évolutions souhaitées. Des partenariats peuvent être développés autour d'un objectif commun de développement et renforcer ainsi la relation client-fournisseur en créant un climat de confiance réciproque.

- **La prise en compte des contraintes de production**

Traditionnellement, les commerciaux visent un chiffre de vente maximum sans se soucier des contraintes du système de production. Pourtant, ils peuvent contribuer largement à la réduction de la variabilité de la demande et éviter les effets de « vagues », si néfastes en production. Parmi les points à traiter :

– Une **politique tarifaire** adaptée qui permet au client de commander suivant son besoin. Le système traditionnel de remise par quantité génère souvent des commandes importantes alors qu'elles pourraient s'étaler plus régulièrement par petites quantités. Le client est gagnant car il réduit ses stocks ainsi que la production qui limite les variations de volume (lissage de la demande). Le partenariat évoqué précédemment permet de travailler en ce sens et offre une visibilité à moyen et/ou long terme à la production. Généralement, le système de motivation des commerciaux est également à remettre en cause.

– Une **communication au plus tôt** à la production de toutes les informations susceptibles de modifier la demande (par exemple : promotions, journées anniversaires, foire…).

– Une **meilleure harmonisation** entre la vente et la production, en utilisant par exemple la pratique dite du « disponible à la vente[54] ».

– Une **stratégie globale cohérente** avec les possibilités de l'entreprise. La construction des PIC (plans industriels et commerciaux) peut être un moyen efficace favorisant le dialogue entre les directions commerciale, financière et de production afin d'aboutir à des objectifs cohérents et réalistes.

---

[54] *Cf.* Partie I, paragraphes 1.3.4 et 1.3.6.

6.3.2 Au niveau des fournisseurs

Les fournisseurs ou les sous-traitants changent leur comportement. Ils sont considérés comme des partenaires contribuant au développement du client. Concrètement, l'utilisation de contrats de partenariat permet d'assurer une stabilité et une fiabilité de la production. Cela se traduit par :

– une confiance mutuelle entre les partenaires,
– des commandes ouvertes[55] remplaçant les commandes traditionnelles par dossier ou affaire,
– un programme d'assurance de la qualité du processus du sous-traitant qui supprime le contrôle de réception des produits livrés,
– des prévisions sur un horizon très large, à partir de programmes glissants qui sont communiquées entre les partenaires,
– une forte réduction du nombre de sous-traitants à partir d'une sélection stricte (contrôle de réception, notation…),
– des livraisons directement au lieu d'utilisation (poste de travail) et non plus au magasin central. Elles sont fonction des besoins et non plus des volumes (ce qui amène à adapter les transports en conséquence).

6.3.3 Au niveau de la distribution

La distribution peut représenter jusqu'à 40 % du prix payé par le client. Le JIT conduit à redéfinir sa stratégie de distribution pour fournir le meilleur service client au moindre coût, notamment en :

– augmentant les fréquences de livraison afin de favoriser l'écoulement du flux et de réduire les stocks (les transporteurs ont adapté leurs moyens en conséquence et des partenariats permettent de maintenir, parfois même de diminuer leurs coûts),
– diminuant (ou en supprimant) le nombre d'entrepôts intermédiaires pour se rapprocher au plus près de l'utilisateur.

---

[55] Selon l'APICS, une commande ouverte est un engagement à long terme avec un fournisseur sur une quantité globale à livrer, mais avec des appels de livraison faits en fonction de la demande.

6.3.4 Au niveau des produits

La qualité d'un produit est déterminée dès les premières phases de la conception. À ce stade de l'étude, une attention particulière est déterminante pour l'industrialisation du produit. Plusieurs actions sont nécessaires.

- **Standardiser**

Une recherche continuelle de standardisation des produits et des pièces aura pour conséquences de :

– réduire le nombre de références à produire et à gérer,

– diminuer les stocks et les stocks de sécurité (4 références regroupées en une diminuent de moitié le stock de sécurité),

– diminuer le risque de pénurie (moins de références tout en assurant taux de service client équivalent voir supérieur).

La **technologie de groupe**[56] facilite ce travail de standardisation. On classe les produits selon leurs caractéristiques morpho-dimensionnelles, mais également en fonction de leur gamme de fabrication.

Les avantages sont importants :

– la diversité lors de la conception se limite au juste nécessaire,

– la rapidité d'industrialisation est accrue grâce aux gammes types par famille de produits,

– l'implantation des moyens de production par lignes de produits (*cf.* § 6.3.5) est facilitée.

- **Simplifier**

Dans la mesure du possible, le concepteur ou l'agent des méthodes cherchera à réduire :

– Le nombre de niveaux des nomenclatures. La recherche s'orientera en direction de nomenclatures simples, comportant peu de niveaux, voire horizontales qui simplifient la base de données (GPAO plus rapide) et les descriptions par kits.

---

[56] *Cf.* Partie III, paragraphe 11.4.1.

– Le nombre de phases dans les gammes de fabrication en intégrant davantage la polyvalence des opérateurs et la continuité des flux. La recherche de la productivité par la réduction des temps technologiques (temps gamme) n'est plus une priorité, on cherchera plutôt la réduction ou la suppression des activités sans valeur ajoutée.

- **Intégrer**

Les différents services de conception et d'industrialisation devront travailler ensemble, échanger leurs compétences et connaissances lors de la conception et de la fabrication des produits.

– **En phase d'industrialisation**, les efforts doivent être portés sur la conception avant la phase de mise en production car les coûts générés sont nettement moins importants. La création de groupes opérationnels comportant des représentants des méthodes et du bureau d'étude semble être une solution efficace.

  Note : l'utilisation des méthodes de type DFM (*Design for Manufacturing)* ou DFMA *(Design for Manufacturing Assembly*) sera privilégiée. Ces méthodes proposent d'intégrer dès la conception l'ensemble des contraintes et savoir-faire liés à la mise en œuvre du produit.

– **En phase d'exploitation**, une organisation adaptée pilote la mise en application des modifications, et synchronise l'ensemble des acteurs (achats, approvisionnements, magasin, méthodes, outillage, ordonnancement, fabrication). Une attention particulière doit être apportée à l'évolution des références et à la gestion des indices de modification. La documentation doit être à jour et à disposition des opérateurs (décentralisation de la documentation).

  Pour réduire les délais d'industrialisation des produits (*Time to Market*), le principe d'**ingénierie concourante**[57] (ou simultanée) qui consiste à paralléliser les tâches de conception est une réponse à ce besoin.

---

57 La norme AFNOR X 50-415 précise que « l'ingénierie concourante tend à ramener vers l'amont, la connaissance des métiers intervenants en aval du cycle de vie et la prise en compte des contraintes que ceux-ci génèrent ». Cette norme utilise le terme « d'ingénierie intégrée » comme traduction de l'expression « Concurrent Engineering » du département américain à la Défense.

6.3.5 Au niveau des moyens de production

- **Implanter par lignes ou cellules (îlots)**

Les implantations fonctionnelles[58] qui généraient de nombreuses manutentions inutiles sont abandonnées au profit d'implantations par lignes de produits offrant une meilleure visibilité des flux et présentant de multiples avantages. En effet, ce procédé :

– facilite la communication entre postes amont et aval,
– facilite une gestion visuelle de l'atelier,
– allège le suivi de fabrication,
– diminue les besoins en manutention et les ruptures de flux associées,
– réduit les files d'attente,
– favorise la polyvalence (en raison de la diversité des moyens composant la ligne),
– facilite le FIFO (gestion des priorités à chaque poste),
– permet la gestion globale du flux et de ce fait réduit considérablement les cycles de production.

Ce type d'implantation s'inspire directement de la performance en productivité des organisations de type « flow shop » (flux continus) qui sont bien adaptées à la production de masse mais qui présentent un manque de flexibilité (process rigide souvent dédié à un produit). C'est pourquoi, regrouper les machines nécessaires à une famille de produits, en lignes ou en îlots, est une solution de compromis assurant un bon écoulement du flux, tout en conservant une certaine polyvalence.

Dans cette nouvelle organisation, le stockage (bien que réduit) des matières premières ou des composants doit être positionné au lieu d'utilisation, c'est-à-dire à proximité des lignes de produits. Le traditionnel magasin centralisé se trouve donc remis en cause.

---

58 L'implantation fonctionnelle consiste à regrouper dans un même lieu géographique les machines de même fonction (par exemple : les tours, les fraiseuses…).

- **Améliorer les performances**

Une recherche croissante de la disponibilité des machines[59] sera effectuée dans une démarche JIT. Cela se traduit par :

– une maintenance préventive et une maintenance de premier niveau réalisées par les opérateurs,

– la recherche de toutes actions visant à réduire le fonctionnement à vide et les temps non productifs,

– la recherche de temps de réglage très courts pour passer rapidement d'une fabrication à une autre en utilisant la méthode SMED[60]. Les temps de préparation (réglage) ne sont plus considérés comme une donnée figée, mais au contraire on recherchera en permanence leur réduction,

– la recherche de « flexibilité » en termes de changement de fabrication, mais aussi en termes de capacité à s'adapter à de nouveaux produits et de capacité à varier les volumes (suivre la demande),

– un programme visant la réduction (ou la suppression) de la non qualité,

– un programme d'améliorations ayant pour objectif de rendre les machines capables de produire « à coup sûr » dans les limites spécifiées.

- **Changer les comportements**

Contrairement à l'organisation taylorienne, **la saturation des moyens n'est plus un objectif** en organisation « JIT », puisque la production réalisée découle du besoin. Certaines machines doivent donc être à l'arrêt.

La politique d'investissement est également modifiée : l'achat de « petites » machines spécialisées, peu coûteuses et utilisables dans les lignes de produits, est préféré à l'achat de « grosses » machines polyvalentes dont l'amortissement nécessite un taux d'utilisation important.

L'implantation doit suivre l'évolution des produits fabriqués (évolution du besoin). Traditionnellement, on évitait de la remettre en cause en raison des coûts générés. En JIT, le problème ne se pose plus en ces termes : certaines entreprises vont jusqu'à installer les machines sur roulettes et sont capables de modifier l'implantation à chaque changement de fabrication, une ou plusieurs fois par mois.

---

59 La TPM (*Total Productive Maintenance*) permet d'atteindre ce but, *cf.* § 8.9.

60 La méthode SMED (*Single Minute Exchange Die*) est développée au § 8.10.

6.3.6 Au niveau de la manutention et du conditionnement

Les conditionnements doivent être simples, adaptés aux tailles de lots (en fonction de l'utilisateur) et faciliter la manutention directe par les opérateurs.

Les manutentions doivent être réduites au minimum car elles représentent un coût, sans générer de valeur ajoutée (c'est pour cette raison qu'il faut se méfier de l'automatisation à outrance des moyens de manutention). Elles doivent être adaptées aux conditionnements et doivent éviter les regroupements (lots économiques de transport) qui peuvent annuler les efforts réalisés à l'atelier pour réduire les tailles de lots de production.

Leur organisation doit être conçue avec pour seul objectif le service rendu aux utilisateurs, en évitant toute rupture de flux.

Les investissements lourds de moyens de manutention laissent la place à l'achat de moyens légers, flexibles, adaptés au petit conditionnement et directement utilisables par les opérateurs. De même, l'organisation centralisée sous un gros service de manutention est remplacée par une organisation très décentralisée, où les moyens sont dédiés aux lignes de produits.

Dans la philosophie JIT, la taille du lot de transfert doit être la plus petite possible, voire un transfert pièce à pièce, si la situation le permet. On cherchera également à n'approvisionner les postes de travail que par rapport à leur besoin (par carte d'appel en flux tiré, par exemple).

6.3.7 Au niveau des ressources humaines

C'est un changement radical de style de management et la construction d'une politique globale où l'homme se situe au centre de la production. Les boîtes à idées et autres cercles de progrès ne sont que des outils utilisés dans le cadre de cette politique. De nouveaux comportements des hommes s'imposent dans les entreprises.

- **Améliorer le cadre de travail.**

Commencer une démarche JIT par des actions d'amélioration du cadre de travail[61] marque une volonté réelle de changement de la part de l'entreprise. Outre l'amélioration du bien-être des salariés avec toutes ses conséquences positives, c'est aussi un facteur essentiel d'amélioration de la qualité (par exemple : une ambiance propre et non bruyante réduit les risques de ne pas détecter les premiers signes de dysfonctionnements d'une machine).

---

[61] Les « 5S » et/ou « Kaisen » sont souvent utilisés, *cf.* § 8.11.

Le comportement traditionnel, reposant sur la rétention de l'information et la diffusion du juste nécessaire, évolue vers celui d'ouverture et de transparence. Ainsi, les résultats, tableaux de bord et indicateurs de performance font l'objet d'un affichage au niveau des lignes de produits.

- **Motiver le personnel**

Pour Frédérick Herzberg, le niveau de rémunération n'est pas un facteur de motivation, mais seulement un facteur de démotivation s'il est insuffisant. En revanche, les facteurs de motivation des personnels se retrouvent dans l'intérêt au travail, le niveau de responsabilisation, la considération et les relations dans l'entreprise. Le développement de la motivation aura pour objet de créer de nouvelles relations entre l'individu et l'entreprise.

- **Responsabiliser le personnel**

Les décisions ne doivent plus être prises en haut de la hiérarchie. Elles doivent davantage être décentralisées au niveau de l'atelier. Les opérateurs participeront à toutes les décisions les concernant ou concernant leur travail (la division entre ceux qui réfléchissent et ceux qui travaillent n'existe plus). Cela se traduit par une meilleure réactivité de la production et sur le plan de la qualité : les défauts et les non-conformités seront rapidement repérés par les opérateurs qui pourront apporter la solution appropriée.

- **Développer la polyvalence**

Elle réduit le risque de rupture de flux, évite de réaliser des produits dont on n'a pas le besoin immédiat et facilite l'équilibrage de charge et de capacité effectué par le gestionnaire.

On abandonne la spécialisation des ouvriers (OS) pour mettre l'accent sur la **multi-compétences** (polyvalence) obtenue par de la formation, mais aussi grâce aux changements de comportement des salariés (motivation).

L'« **élargissement des tâches** (*job enlargement*) » peut se traduire pour un opérateur par la conduite de plusieurs machines (au lieu d'une seule) et l'« **enrichissement des tâches** (*job enrichment*) » par la mesure de la qualité de son travail (responsabilité du contrôle), la participation aux opérations de réglage, la maintenance de premier niveau…

Dans ce contexte, la fonction de commandement de la Maîtrise évolue vers une fonction d'animation d 'équipe. L'instruction et la formation du personnel font maintenant partie de sa mission.

- **Évaluer les performances**

Le comportement de toute l'entreprise est conditionné par les moyens de mesure et de jugement des performances. C'est peut-être sur ce point que les responsables doivent modifier leur comportement le plus en profondeur.

Le suivi du temps passé localement par poste est remplacé par une mesure de l'activité et de l'efficacité réelle de l'atelier, c'est-à-dire des volumes produits et expédiés ou des cycles de fabrication. La performance d'équipe remplace la performance individuelle.

La mesure des taux de marche « machine » laisse place à la mesure des volumes d'en-cours, des couvertures de stocks, du niveau de satisfaction client.

- **Adapter les structures**

La communication et le décloisonnement entre les services seront privilégiés. Il s'agit de passer d'une structure d'entreprise verticale à une structure horizontale. De même, une réduction du nombre de niveaux hiérarchiques est recherchée pour passer d'une fonction de commandement à une fonction d'animation d'équipe, de management des hommes.

Tous les services de soutien à la production (préparation, méthodes, contrôle ou ordonnancement) sont décentralisés au niveau des lignes de produits où la communication sera recherchée.

Le JIT incite à faciliter toutes les communications horizontales, à créer des passerelles entre les services ou entre interlocuteurs afin de réduire les délais.

6.3.8 Au niveau de la qualité

Le service qualité changera lui aussi profondément son comportement : il n'agira plus en inspecteur, chargé de contrôler, de détecter et de sanctionner les défauts constatés (rebuts, retouches), mais il agira en tant que formateur et conseil, mènera des actions de prévention et facilitera la mise en œuvre d'outils tels que l'autocontrôle, l'auto-vérification, les cartes de contrôle, les analyses des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)…

La fonction qualité ne représente plus un domaine isolé, elle est associée aux moyens de production, au commercial, à la conception, au personnel…

Un des axiomes de la philosophie JIT est : « pour fabriquer un produit de qualité, il faut avoir un processus de qualité ». Tout le monde est responsable de la qualité, pas seulement la production et encore moins le service qualité.

Avec l'intégration du contrôle dans le processus de production, les opérations de contrôle se fondent dans les opérations d'exécution. La qualité s'assure au niveau du processus, et non plus au niveau des produits.

6.3.9 Au niveau des stocks

Les stocks correspondant à des fabrications en avance étaient positionnés au plus proche du consommateur. Les stocks, à présent considérés comme de la surproduction, sont conservés chez, et sous la responsabilité de celui qui génère ce stock, c'est-à-dire le fabricant.

Traditionnellement, le niveau des stocks était défini par les gestionnaires, en fonction de différents paramètres (stock sécurité, taille de lot et conditions économiques de stockage). Il était rarement remis en cause et devenait ainsi une donnée constante dans les systèmes de gestion.

En JIT, on ne se contente plus d'un niveau de stock donné et le comportement s'oriente vers une réduction volontaire et permanente de l'encours au fur et à mesure des améliorations.

6.3.10 Résumé

Le JIT est plus une philosophie, un concept, qu'une méthode de gestion de production. Il représente une démarche globale qui concerne tous les services de l'entreprise et qui ne se limite pas à la simple réduction des stocks ou à l'utilisation du système d'information Kanban. Cette démarche s'appuie essentiellement sur le bon sens et demande un bouleversement complet des comportements envers la gestion industrielle.

6.4 La méthode Kanban

Cette méthode s'est développée au Japon après la deuxième guerre mondiale. Elle a été élaborée par Taiichi Ohno dans l'entreprise Toyota où elle a commencé à bien fonctionner dès 1958. Elle s'est répandue dans toutes les entreprises au Japon dans les années 1975. Comme cette méthode fut mise au point dans le cadre du JIT, on l'a trop souvent confondue avec cette philosophie.

Il va de soi que si le JIT peut être réalisé sans utiliser la méthode Kanban, on constate cependant que l'utilisation de celle-ci oblige à adopter une démarche JIT pour bien fonctionner. En japonais « Kanban » signifie : étiquette, fiche, carte.

6.4.1 Principe

La méthode Kanban est une organisation de la production qui consiste à produire le produit demandé, au moment où il est demandé et dans la quantité demandée. Elle est donc directement utilisable dans le cadre de la philosophie JIT.

Quelques désignations similaires :

- Régulation par l'aval.
- Gestion en flux tiré.
- *Pull system.*
- Système du supermarché.
- « Tournée du laitier »…

Cette méthode permet de déclencher la fabrication par l'opérateur, en fonction de la consommation réalisée par l'aval. Elle s'utilise dans le cadre d'une relation client-fournisseur, aussi bien à l'interne qu'à l'externe.

6.4.2 Le Kanban

Le kanban (spécifique) est lié physiquement à un lot de pièces d'une seule référence. Le plus souvent, il correspond à un « bon de fabrication » lié à une opération définie du processus pour une référence donnée, effectuée sur un poste de travail déterminé, pour une quantité de pièces fixe. Cependant le kanban peut être lié à une succession d'opérations, dans le cas par exemple de postes en ligne relativement équilibrés (sans en-cours) fonctionnant en FIFO[62].

On assimile alors la succession des postes de travail à un seul et le planning est placé sur le premier poste de la ligne (macro-kanban). De très nombreuses variantes existent selon les activités et les entreprises. Dans cette description, nous nous limiterons au cas général.

Le kanban est soit accroché sur le container (production réalisée en stock), soit placé sur le planning du poste de travail auquel il correspond (production à réaliser). Il facilite la circulation des produits et des informations entre deux postes ou deux unités de travail.

---

[62] FIFO (*First In, Firtst Out*) : premier entré, premier sorti.

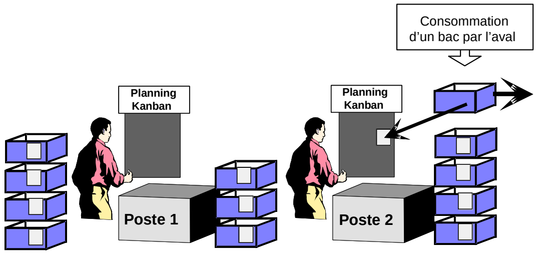
Un kanban (spécifique) contient en général des informations :

– d'identification (référence de la pièce et de l'opération, nombre de pièces…),
– de manutention (noms des opérations successives, endroit où porter le container, où déposer les tickets…),
– de gestion (nombre de tickets kanban en circulation, de kanbans par lot et quantité d'alertes),
– techniques (outillage, instructions de travail, de réglage, de contrôle, nomenclature des matières et pièces consommées…).

6.4.3 Description de la méthode

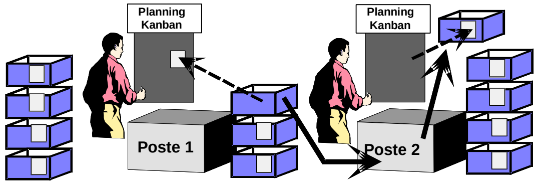
- **Situation 1, l'aval consomme un bac**

– Le Kanban du bac consommé par l'aval revient sur le planning du poste 2 qui est alors autorisé à produire.
– L'opérateur du poste 1 ne produit pas (absence de kanban sur son planning).



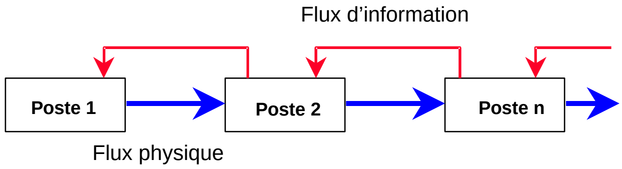
- **Situation 2, l'amont réagit**

– L'opérateur du poste 2 prend un bac en amont (poste 1), retire le kanban et le retourne au planning du poste 1. Il réalise alors sa production, puis il fixe le kanban provenant de son planning sur le bac réalisé et le place en stock en aval de son poste.
– L'opérateur du poste 1 reçoit le kanban retourné par le poste 2 sur son planning, il est donc autorisé à produire. Ce Kanban constitue un ordre de fabrication d'un bac de pièces.



Par ce système, la consommation de l'aval déclenche une demande de renouvellement qui « remonte » en amont de poste en poste. Ainsi l'aval « tire » l'amont, le Kanban est donc un « **système à flux tiré** ».

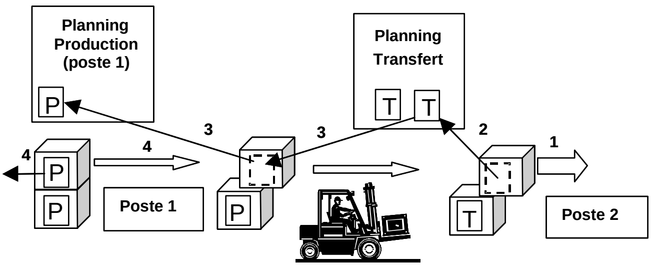
Dans le cas d'un atelier de production, la méthode Kanban consiste à superposer au flux physique un flux inverse d'information :



6.4.4 Terminologie

Si les postes sont situés à proximité et consécutifs dans un même atelier, on utilise un **kanban de production**.

Dans l'hypothèse où les postes sont éloignés, pour gérer l'opération de transport, on utilise un kanban de transfert. Dans ce cas, les conteneurs sont entreposés sur des aires de stockage intermédiaires, comme le montre la figure ci-dessous.



Explication du fonctionnement du kanban de transfert :

– Le poste 2 consomme un container.
– L'opérateur du poste 2 retire le kanban de transfert fixé sur le container et le dépose sur le planning du cariste.
– Le cariste prend le kanban « Transfert » et va chercher un conteneur produit par le poste 1 et le fixe à la place du kanban de production et dépose ce dernier sur le planning Production du poste 1. Il revient placer le container sur l'aire de stockage du poste 2.
– Le poste 1 produit un container, il place un kanban « production » de son planning sur celui-ci et retourne au poste précédent son kanban…

Le transfert assuré par le cariste est ainsi assimilé à un poste de travail.

De manière identique, le kanban s'utilise parfaitement avec ses fournisseurs (l'industrie automobile l'emploie d'ailleurs couramment).

Des sociétés ont même développé un système de kanbans sur Internet avec ses fournisseurs (facilite le retour des kanbans chez le fournisseur).

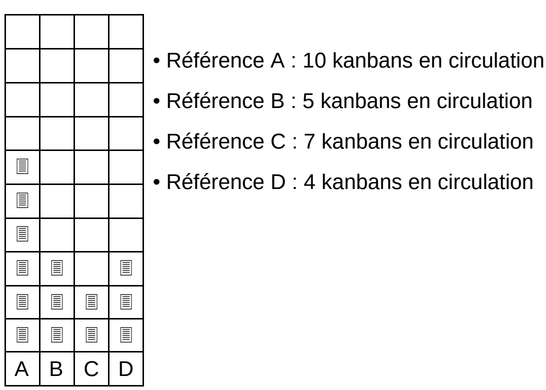
Le plus souvent on parle de **kanban spécifique** (il répond aux questions : « Que fabriquer, où, quand, comment et combien ? »).

Mais il existe aussi un **kanban générique** (il répond uniquement à la question « Quand ? »), il sert donc uniquement à donner l'autorisation de produire sans préciser la référence. Celle-ci est souvent indiquée par une liste de priorités issue d'un système MRP. Son utilisation est intéressante pour la régulation (et la limitation) de stock, notamment les en-cours.

6.4.5 Gestion des priorités

Exemple

Supposons un poste qui fabrique quatre types de pièces dont le planning est le suivant :



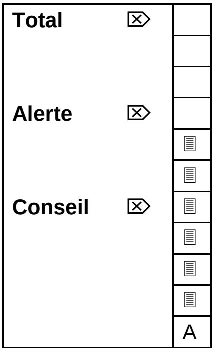
Sachant que 10 kanbans sont en circulation pour la pièce A et que le planning en comporte 6, on en déduit que 4 containers sont en stock.

En poursuivant le raisonnement nous avons :

- 5 – 3 = 2 kanbans de référence B en stock
- 7 – 2 = 5 kanbans de référence C en stock
- 4 – 3 = 1 kanban de référence D en stock

La priorité est donc : D puis B puis A et enfin C.

Pour aider l'opérateur à prendre ses décisions de production, il est possible de créer des index sur le planning. Pour la référence A, par exemple, on aurait :



- L'index « **Total** » indique le nombre de kanbans en circulation.
- L'index « **Alerte** » signale à l'opérateur qu'il est impératif de relancer la référence (souvent positionné par rapport à la durée de réglage et au niveau de sécurité visé face aux aléas).
- L'index « **Conseil** » offre à l'opérateur la possibilité d'attendre (sans risques) un retour suffisant de kanbans avant de relancer.

La priorité est donnée à la référence dont la colonne de kanbans se rapproche le plus de la zone d'alerte. Dans le cas où plusieurs références se rapprochent simultanément de cette zone, des règles de priorité doivent être établies. Elles peuvent prendre en considération le temps de réglage, le temps de fabrication par opération, le délai client, le nombre d'opérations…

La communication aisée avec le poste aval (informations sur ses futurs besoins) facilite aussi la prise de décision dans ce cas. Si ce problème est chronique, il apparaît alors un manque de capacité sur ce poste qu'il convient d'analyser et de traiter.

6.4.6 Nombre de kanbans

La plupart des entreprises cherchent empiriquement à déterminer le nombre de kanbans. Elles placent un nombre suffisant au départ et diminuent progressivement jusqu'à la rupture.

Shigeo Shingo dans son ouvrage « Maîtrise de la production et méthode kanban » précise que « la façon de déterminer le nombre de kanban n'est pas le plus important. Ce qui compte, c'est de se demander comment on doit améliorer le système de production pour fixer un nombre de kanban minimum ».

Toutefois différentes formules existent selon les ouvrages, par exemple la formule proposée par Monden et rapportée par Nollet pour calculer le nombre de kanbans :

$$\mathbf{N = (D.L + G)/C}$$

Avec :

N : nombre de kanbans à mettre en circulation.

D : demande moyenne de pièces par unité de temps (heure, jour, semaine, mois…).

G : facteur de gestion (valorisation des aléas possibles, < 10 % du produit D.L).

C : capacité du container.

L : délai de fabrication, d'attente et de transport.

6.4.7 Conséquences de la méthode

- **Forces**

– Un système simple qui limite les stocks à un niveau fixé. Le système oblige l'opérateur à arrêter sa production en l'absence de kanbans sur son planning.

– Un système dynamique qui répercute en temps réel les modifications du programme (flexibilité).

– Une extension des compétences des opérateurs qui force l'entreprise à un processus d'amélioration permanent pour obtenir des résultats performants.

- **Faiblesses**

– Un système de gestion à court terme qui n'offre aucune visibilité à moyen et long terme (pas d'anticipation possible).

– Un système qui ne supporte pas, ou mal, un environnement à forts aléas.

– Si la demande s'arrête, le système s'arrête en niveau de stock maximum.

– Un choix de priorité complexe pour l'opérateur s'il existe un nombre important de kanbans et une multitude de références.

– La méthode kanban ne s'applique pas à des commandes imprévisibles. Les fabrications ne doivent pas être trop diversifiées. Enfin, cette méthode s'applique de préférence à des fabrications de produits standards, de faible complexité et comportant peu d'options ou de variantes (sauf pour le kanban générique).

6.4.8 Complémentarité kanban et MRP

Le kanban fonctionne très bien sur la gestion à court terme avec une demande régulière mais cette situation est rare de nos jours.

Le MRP planifie du long terme au court terme la production en lissant la charge de l'atelier à partir de prévisions et des commandes en portefeuilles.

Les deux méthodes, qui ont pour objectif commun la réduction des stocks, sont parfaitement complémentaires : l'utilisation du kanban convient très bien à la gestion à court terme de la demande réelle au niveau des ateliers alors que le MRP permet d'intégrer la variabilité de la demande du long terme au court terme et de prévoir ainsi les ajustements nécessaires de l'appareil de production.

Au niveau de l'ordonnancement d'atelier, certaines sociétés fonctionnent ainsi :

- La méthode kanban pour les ateliers de montage permettant la détection et la réactivité nécessaires face à la demande réelle du client (en termes d'options, de personnalisation) dans un délai très court.
- Le MRP pour gérer la production des ateliers d'usinage de composants ou de sous-ensembles (ordres de fabrication), ainsi que les fournisseurs (ordres d'approvisionnement).

D'autres fonctionnent comme suit :

- Un « assemblage à la commande » pour les ateliers de montage permettant de répondre à la demande réelle du client en termes d'options, de personnalisation.
- La méthode kanban pour gérer la production des ateliers d'usinage de composants ou de sous-ensembles (ordres de fabrication) qui renouvellent la consommation de l'assemblage.

De nombreuses combinaisons existent en fonction du secteur d'activité et des besoins spécifiques.

6.4.9 Principales améliorations à mener

Afin d'assurer le succès de la méthode Kanban, plusieurs améliorations sont nécessaires et précisées dans le tableau ci-après.

Remarque : La recherche de solutions passe souvent par la création de groupes de travail, donc nécessite le recours au **management participatif**[63].

---

63 *Cf.* Paragraphe 8.1.

Objectif	Actions	Outils possibles
0 défaut	– Développer l'autocontrôle – Développer des systèmes anti-erreurs	SPC, procédures de contrôle, Poka-Yoké
Augmenter la flexibilité	– Changer rapidement de fabrication en diminuant les temps de réglage – Augmenter la polyvalence du personnel – Développer de nouvelles relations au travail	SMED Formation Formation, motivation, esprit d'équipe
Flux plus fluides	– Obtenir le plus possible des lignes de produits	Implantations, technologie de groupe, standardisation des produits
Lisser la demande	– Régulariser la demande	Implication du client, dynamique commerciale
0 panne	– Développer une maintenance efficace (prévention)	TPM
Fiabiliser les fournisseurs	– Fiabiliser les délais et la qualité	Partenariat, délégation de contrôle, notation fournisseur, contrôle de réception
Stratégie d'entreprise cohérente	– Prendre en compte les contraintes de la production et son niveau de performance actuel par la Direction générale (stratégie) et par les Finances (choix d'investissement, stocks)	Réunions, communication, Plans industriels et commerciaux (PIC)

6.4.10 Résumé

La méthode Kanban, présente de nombreux avantages (simplicité de mise en œuvre, diminution des temps de changements d'outils…). De plus, elle contribue à l'amélioration de la circulation des flux et facilite la réalisation du « JIT ».

Le kanban est un outil de gestion visuel qui permet de réguler les flux de production. Il est très utilisé de nos jours dans les entreprises. Avant d'entreprendre une démarche Kanban, il est nécessaire d'améliorer le processus et chaque opération. Il est fondamental de réduire les temps de changement d'outillage.

Enfin, la formation, la polyvalence du personnel de production, la motivation, l'autonomie, la responsabilité…, sont autant d'éléments associés à la philosophie JIT et indispensables à la réussite de la méthode Kanban dans un esprit de Juste-à-temps.

La philosophie JIT n'implique pas obligatoirement l'utilisation de kanbans, mais la mise en œuvre de la méthode Kanban nécessite la réalisation des actions liées au JIT.

Cette situation explique la confusion de certains qui, par un raccourci rapide, assimilent la méthode Kanban au JIT. Nous espérons avoir levé cette ambiguïté.

7
OPT/TOC/MP

7.1 Terminologie

Ces trois abréviations signifient :

– **OPT** : *Optimised Production Technology*.

– **TOC** : *Theory of Constraints.*

– **MPC**[64]: Management par les contraintes.

7.2 Historique

À la fin des années 1970, une méthode de gestion industrielle appelée OPT, fondée sur la distinction entre deux types de ressources dites « goulots » ou « non-goulots »**,** a fait son apparition.

---

[64] Principale source bibliographique : *Le Management par les contraintes* de Philip Marris, Éditions d'Organisation.

Initialement développée par Goldratt et Cox[65] sous le nom d'OPT, cette méthode a évolué sous d'autres noms pour des raisons historiques :

– OPT aujourd'hui est une marque déposée liée au logiciel informatique.
– TOC est le nom utilisé par les concepteurs de la méthode qui ont cédé leurs droits sur le logiciel.
– MPC est l'appellation la plus récente qui évite tout lien avec le logiciel et les concepteurs.

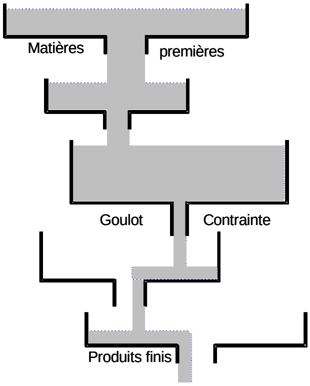
7.3 Principe

Le but de toute activité manufacturière est de faire du profit, immédiatement et durablement. Ainsi, proposer aux clients des produits de meilleure qualité est un objectif secondaire. Ce n'est nullement le but visé par l'entreprise.

Une contrainte est un élément qui, par sa capacité et/ou son manque de flexibilité, limite la performance d'une entreprise par rapport à son but. Toute entreprise industrielle a au moins une contrainte, sinon elle serait capable de produire et de vendre une quantité illimitée de produits et de gagner une quantité infinie d'argent.

La théorie des contraintes est une philosophie de management qui se concentre sur la performance des contraintes pour améliorer la performance globale du système.

Le schéma suivant est couramment utilisé pour illustrer le principe :



Si on représente un processus de production par une série de cuves à travers lesquelles coulent les produits, la notion de « contrainte » ou de « goulot » devient évidente.

Ce sont les goulots qui limitent le flux de sortie. Augmenter leurs diamètres revient à augmenter le débit de l'ensemble, ce qui n'est pas le cas pour les « non goulots ».

65 *Cf. Le But. Un processus de progrès permanent*, AFNOR Éditions 2006.

7.4 Contrainte de capacité

Le terme « goulot[66] d'étranglement » est souvent utilisé dans le cas d'une contrainte de capacité. Son identification est la clef pour le management par les contraintes.

Un goulot est une ressource dont la capacité est, en moyenne, juste égale ou inférieure au besoin.

Par conséquent :

Un non-goulot, est une ressource dont la capacité est, en moyenne, supérieure au besoin (excédent de capacité).

En général, la contrainte est une ressource rare et/ou coûteuse (sinon il suffirait d'en acheter une autre pour régler le problème).

Par convention les goulots sont désignés par la lettre **« X »** et les non-goulots par la lettre **« Y »**. Tout process peut se décrire à partir de cinq configurations de base :

Goulot alimentant un non-goulot	➡ X ➡ Y ➡
Non-goulot alimentant un goulot	➡ Y ➡ X ➡
Non-goulot alimentant un autre non-goulot	➡ Y_1 ➡ Y_2 ➡
Goulot alimentant un autre goulot	➡ X_1 ➡ X_2 ➡
Situation convergente (exemple assemblage)	➡ X ➡ / ➡ Y_1 ➡ → Y_2 ➡

Remarque **:** Philip Marris recense seize configurations de base en détaillant les cas « convergents » ou « divergents ».

À titre d'exemple, le process représenté sur le schéma de la page précédente pourrait se représenter par :

Y_1 ➡ Y_2 ➡ X_3 ➡ Y_4 ➡ Y_5 ➡ Marché

---

[66] Remarque : le terme goulet d'étranglement est également utilisé.

7.5 Interactions et interdépendances

7.5.1 Interactions entre goulots et non goulots

Dans un processus de production, un certain nombre d’opérations sont exécutées séquentiellement.

Si un goulot alimente un non goulot (X ➨ Y), la sortie de ce dernier ne pourra excéder la capacité du goulot. Il faut donc assurer le débit maximal du goulot et aucun stock ne s’accumule après lui.

Inversement, si un non goulot alimente un goulot (Y ➨ X), un stock apparaîtra devant le goulot en raison de la logique classique visant le plein emploi des ressources.

7.5.2 Interdépendances

Il existe deux phénomènes perturbateurs basiques dans tout processus de fabrication :

– Les **fluctuations statiques et les aléas,** concernant les perturbations inévitables et imprévisibles.

  Ils concernent les variations de performances, les pannes, les micro-arrêts, les manques d’approvisionnement, les absences momentanées de l’opérateur, les petits problèmes de qualité… On cherche à les réduire à l’aide d’outils (SMED, TPM, Kaisen…) mais il reste une part non maîtrisable.

– Les **dépendances** proviennent de la synchronisation nécessaire des opérations.

  Ainsi la première dépendance peut être la mise à disposition de la matière première puis la disponibilité de la ressource suivante… Les dépendances provoquent des vagues, des successions d’attentes et d’activités. Elles augmentent suivant la complexité du processus.

Les aléas et les dépendances se combinent « diaboliquement » et désorganisent tout le système. Depuis toujours on cherche à équilibrer les capacités des ressources mais ces perturbations rendent impossible et illusoire un tel objectif.

Ce phénomène n’est pas réservé aux ressources hétérogènes. Il apparaîtrait également dans un processus à ressources strictement identiques en raison du caractère aléatoire et combinatoire des différents événements.

En conséquence : les délais et les stocks augmentent alors que le débit baisse.

7.6 Différents types de contraintes

Les contraintes de capacité sont les plus simples à appréhender, cependant d'autres types existent. Les programmes de production doivent prendre en compte toutes les contraintes simultanément.

7.6.1 Le marché

En période de récession ou de stagnation économique, le marché peut être la contrainte qui limite le débit (l'appareil de production est en surcapacité).

De manière générale, le marché est une contrainte omniprésente, notamment au niveau de ses caractéristiques (prix, délais) imposées aux entreprises.

7.6.2 Les approvisionnements

- Les **contraintes à court terme**, surgissent brusquement, sous la forme de rupture d'approvisionnement, en raison d'un retard de livraison, de livraison non conforme ou d'un défaut de planification.
- Les **contraintes à long terme**, proviennent essentiellement de matériaux difficiles à se procurer, pour lesquels les délais sont importants. La disponibilité de cet approvisionnement critique doit être traitée dès l'élaboration des programmes directeurs de production (PDP). Le choix du « mix[67] » de produits se fera en intégrant cette contrainte afin d'atteindre les meilleurs résultats financiers. Eliyahu Goldratt va jusqu'à recommander l'acquisition pure et simple du fournisseur.
- Les **contraintes d'approvisionnement internes**, peuvent provenir :
  - d'une mauvaise planification,
  - d'une surconsommation (ressource générant des rebuts),
  - d'une rupture technique (moyens de manutention en panne),
  - de la disparition de pièces (vol, utilisation non prévue des matériaux pour une autre fabrication).

[67] Expression américaine désignant la répartition (le mixage) des produits par famille.

7.6.3 La logistique

Dans des structures importantes avec de nombreuses agences locales et des moyens de production disséminés, le **délai global**, depuis la prise de commande en passant par sa production jusqu'à sa livraison chez le client, peut être très important.

Adapter les structures pour les rendre plus réactives permet d'offrir des délais plus rapides au client.

L'horizon de planification est également un élément déterminant.

7.6.4 Le management

La politique et les règles d'une entreprise peuvent être des contraintes, car :

- Les lots économiques amènent souvent des effets contre-productifs.
- Une politique d'achat visant le meilleur prix, plutôt que de satisfaire les besoins réels, augmente les stocks et immobilise de la trésorerie.
- Les primes de rendement, comme les objectifs de productivité locale, poussent à la suractivation des ressources.

7.6.5 Les contraintes comportementales

- Le poids des habitudes et la résistance au changement sont souvent des obstacles importants aux efforts d'amélioration.
- Le réflexe « d'occuper les ressources », afin d'éviter le gaspillage ou d'améliorer le retour sur investissement est source de surproduction inutile.
- Le « cherry-picking » consistant à choisir les tâches par préférence au lieu de l'ordonnancement prévu peut provoquer de graves conséquences en aval.

7.6.6 La main-d'œuvre

Le terme « ressource » inclut les ressources humaines. Une entreprise peut très bien subir la contrainte d'un savoir-faire particulier, d'une compétence rare. Les sociétés de service n'ont pratiquement que des ressources humaines.

La part d'aléas concernant une contrainte de main-d'œuvre est généralement importante, rendant la synchronisation avec les autres ressources plus délicate.

7.7 Les indicateurs de la TOC

La théorie des contraintes place la notion de profit comme but essentiel. Cependant la comptabilité classique, en charge de la gestion financière, conduit souvent à de mauvais choix stratégiques. La valorisation des stocks ou le calcul du coût horaire des ressources en sont des exemples caractéristiques.

Eliyahu Goldratt propose trois indicateurs simples :

– « **Throughput** » **(T)** : c'est le **produit des ventes**, soit l'argent obtenu par les produits vendus et non pas la valeur potentielle des produits finis ! Il se définit comme suit : **T =** Revenu des ventes – Coût matière des produits vendus
– « **Inventory** » **(I)** : les stocks ou plutôt l'argent que le système a investi (matières, équipements et autres investissements). Les stocks sont valorisés à leur prix d'achat. Pour les machines et autres investissements, une partie des « stocks » est transférée à chaque période comptable vers les dépenses de fonctionnement à titre d'amortissements.
– « **Operating Expenses** » **(OE)** : les dépenses de fonctionnement, c'est-à-dire l'argent que le système dépense pour transformer les stocks en produit des ventes. C'est la somme des dépenses excepté celles concernant l'achat des matières premières (considérées comme investies dans les stocks).

La bonne performance consiste à augmenter le produit des ventes en réduisant simultanément les stocks et les dépenses de fonctionnement. Cette approche supprime les confusions entre investissements et dépenses. De plus, les trois indicateurs sont simples et compréhensibles par les responsables de production.

7.8 La mise en œuvre

Le management par les contraintes considère que « le déséquilibre des charges sur les différentes ressources d'une entreprise est inévitable et le bon déséquilibre est souhaitable ».

7.8.1 Phase 1 : La gestion du déséquilibre

Cette phase ne demande pas d'investissement et débute par une analyse visant à :

– Repérer les principales faiblesses (taux de service, délais, trésorerie…).

– Identifier la typologie de production (V, A, T ou mixtes)[68] et rechercher les contraintes.
– Rechercher les véritables causes des problèmes (règles de gestion, par exemple).
– Abandonner toutes les mauvaises règles incompatibles avec la recherche de performance globale du système.
– Rechercher des solutions augmentant les performances des contraintes.
– Fixer les paramètres pour la synchronisation (taille de lot, stocks tampons).
– Déterminer le mode de traitement des commandes (en temps réel, par les PDP…).

Ce travail préparatoire réalisé, les actions consisteront à :
– Synchroniser l'activité.
– Suivre l'évolution des stocks tampons (en vue de leur éventuelle réduction).
– Engager un processus d'amélioration continu (en fonction des retards constatés).
– Remettre à nouveau en cause les tailles de lot si nécessaire.
– Identifier des non goulots en voie de saturation et essayer d'augmenter leur capacité sans investissement (sinon passer en phase 2).

7.8.2 Phase 2 : La recherche du bon déséquilibre

Philip Marris explique dans son ouvrage[69] que « la phase 1 n'est qu'un premier pas. Il faut se lancer à la poursuite du bon déséquilibre. C'est ce que nous avons appelé la phase 2 ou la clé de voûte de l'approche déséquilibriste et qui fait défaut à la méthode OPT et à la TOC ».

Les actions peuvent se résumer ainsi :
– Étudier les profils de charges par ressources (réglages, pannes, aléas…).

---

68 *Cf.* Paragraphe 7.9.

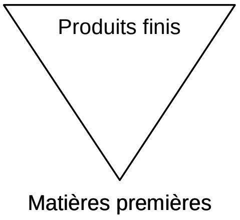
69 *Cf.* l'ouvrage *Le Management par les contraintes* (page 177), Éditions d'Organisation.

– Évaluer les coûts de stockage et des excédents de capacité (accroissement de la disponibilité impliquant par exemple une augmentation des coûts d'exploitation et/ou des charges salariales). En déduire les investissements qui pourraient les réduire.
– Estimer l'évolution à long terme de la demande (produits actuels et futurs), en déduire la capacité nécessaire et les évolutions souhaitables (processus, produits…).
– Déterminer les contraintes nécessitant les investissements.
– Fixer la stratégie de l'entreprise après avoir simulé différents scénarios.
– Orienter les investissements et le processus d'amélioration par rapport à l'objectif stratégique.
– Estimer les opportunités de réorganisation (par exemple : déplacer le point de différenciation[70], revoir la « communauté »...).

7.9 La classification V, A, T

La classification V, A, T et les méthodes d'analyse correspondantes furent élaborées par les fondateurs de la méthode OPT. Selon le type d'entreprise, la représentation graphique du flux des matières à travers les différents niveaux de production fait apparaître les trois lettres V, A et T (si les matières premières sont en bas).

7.9.1 Le type « V »

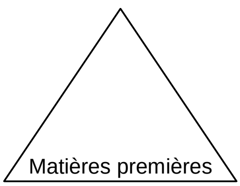


Il concerne des industries de première ou deuxième transformation dont le nombre de produits finis (références) est largement supérieur aux différents types de matière première (par exemple : la métallurgie, pétrochimie, agroalimentaire…).

---

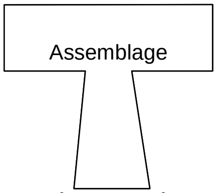
[70] Le point de différenciation ou de personnalisation au plus tard est le point au cours du processus où la personnalisation du produit est nécessaire par rapport à la demande client. Jusqu'à ce point, les composants ou sous-ensembles peuvent être utilisés pour de nombreux produits (notion de communauté).

7.9.2 Le type « A »



Situation inverse du type précédent : il s'agit des entreprises dont la gamme de produits finis est limitée à partir de nombreuses références achetées.

7.9.3 Le type « T »



Il correspond à une évolution du type « A » suite à l'évolution du marché qui réclamait plus de diversité et de personnalisation des produits.

Ces entreprises assemblent souvent « à la commande » (pour personnaliser le produit) à partir d'un nombre limité de composants ou de sous-ensembles communs à de nombreux produits finis. La personnalisation commence à partir du point de différenciation. C'est un cas fréquent aujourd'hui.

Remarque : Cette classification est similaire à celle évoquée plus couramment en gestion industrielle et identifiant trois types : structure convergente, structure divergente et structure en « diabolo »[71].

Dans son ouvrage, Philip Marris présente des concaténations de cas réels qui illustrent parfaitement la méthodologie de mise en œuvre pour chacun des types. Le lecteur désireux d'approfondir le sujet pourra s'y reporter.

7.10 La synchronisation

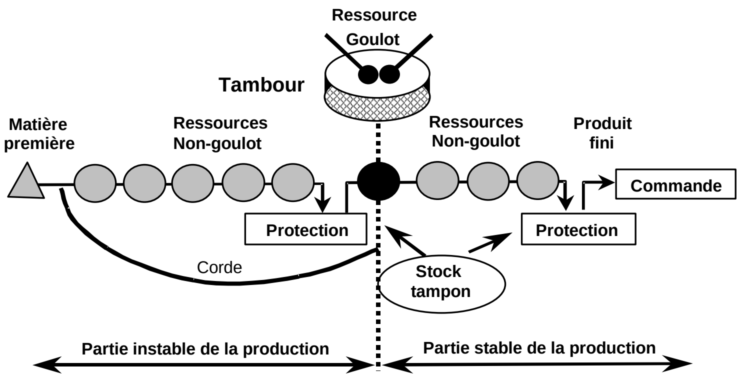
OPT parle de « Drum-Buffer-Rope » ou « Tambour-Tampon-Corde » pour représenter la logique de synchronisation.

– « **Tambour** » : le programme maître donne le rythme, le(s) goulot(s) est (sont) saturé(s).

---

71 *Cf.* Partie I, paragraphe 1.3.3 (le système MRP).

– « **Tampons** » : ils protègent l'alimentation du goulot d'éventuels retards. Il en est de même pour garantir le respect des délais.
– « **Corde** » : les matières sont lancées en fabrication, en fonction du programme maître.

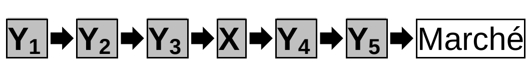


La synchronisation ne doit pas être comprise au sens littéral de ressources obéissant à un rythme et « marchant au pas ». La synchronisation est la contribution des ressources non-goulots à l'assurance que le(s) goulot(s) puisse(nt) suivre le planning.

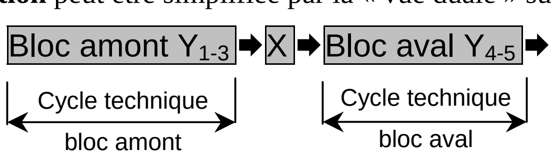
La synchronisation a pour objectif de fournir les clients au moment du besoin (objectif très proche du JIT). Une bonne synchronisation assure un produit des ventes maximum, des cycles minimums et un respect des délais, l'ensemble avec des coûts de fonctionnement minimaux.

Principe de base

Soit un processus linéaire composé de cinq postes non-goulots (Y_1 à Y_5) et un goulot (X).

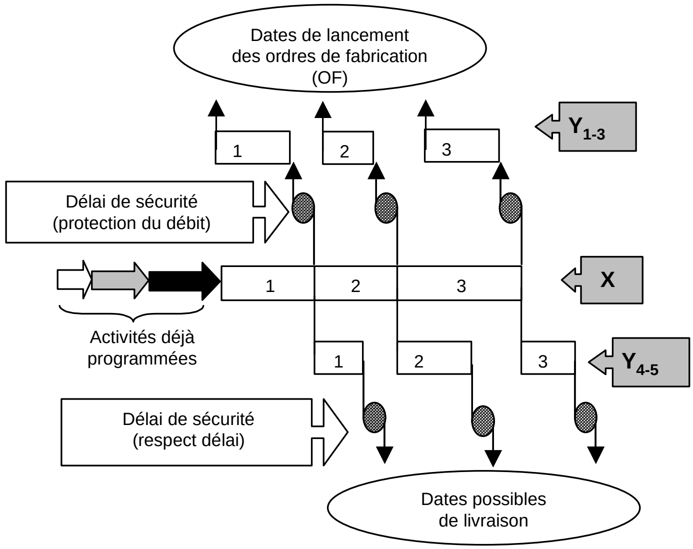


Sa représentation peut être simplifiée par la « vue duale » suivante :



Le cycle technique est calculé à partir des temps unitaires en intégrant les contraintes techniques (taille de lot, réglage, séchage…) et logistique si besoin.

Construction du programme « maître », à capacité finie au niveau de la contrainte de capacité (X) en « saturant » celle-ci (application règle 4) :



– L'ordre de passage (1, 2, 3) sur le goulot est obtenu en déduisant la durée de cycle du bloc aval (Y_{4-5}) du délai de livraison promis au client. On obtient ainsi un classement du plus urgent au moins urgent.

– Les dates de livraison possibles sont calculées en ajoutant à la date de fin de l'opération sur le goulot la durée de cycle du bloc aval (Y_{4-5}) ainsi qu'un délai de sécurité (*Buffer*) pour garantir les délais. Ces dates doivent être compatibles avec les dates de livraison promises au client, mais aussi avec les objectifs : si elles sont trop en avance, le stock est trop important. La construction du programme maître se traduit par la recherche du meilleur compromis entre le respect des délais, le débit maximum du goulot et la minimisation des stocks.

– Les dates de lancement sont obtenues à partir de la date de début de l'opération sur le goulot de laquelle on retranche la durée du cycle du bloc amont (Y_{1-3}) ainsi que le délai de sécurité afin d'éviter la rupture du goulot.

Remarques :

- Eliyahu Goldratt a appliqué le concept TOC en gestion de projet : il a nommé cette nouvelle approche « la chaîne critique ».
- Le terme « goulet » est également employé à la place du terme goulot.

7.11 Les neuf règles de la philosophie OPT

	Philosophie OPT	Règles Classiques
1	Équilibrer le flux et non les capacités	Équilibrer les capacités, puis maintenir le flux
2	Le niveau d'utilisation d'un non goulot n'est pas déterminé par son propre potentiel, mais par d'autres contraintes du système	Le niveau d'utilisation d'une ressource est déterminé par sa propre capacité
3	Utilisation et plein emploi d'une ressource ne sont pas synonymes	la charge d'une ressource doit être égale à son plein emploi
4	Une heure perdue sur un goulot est une heure perdue pour tout le système	Une heure perdue sur un goulot est seulement une heure perdue sur cette ressource
5	Une heure gagnée sur un non goulot n'est qu'un leurre	Une heure gagnée sur un non goulot, est une heure gagnée sur cette ressource
6	Les goulots déterminent à la fois le débit de sortie et les niveaux de stock	Les goulots limitent temporairement le débit de sortie mais ont peu d'effet sur les niveaux de stock
7	Souvent le lot de transfert ne doit pas être égal au lot de fabrication	On doit éviter l'éclatement et le chevauchement des lots
8	Les lots de fabrication doivent être variables et non fixes	Le lot de fabrication doit être constant à la fois dans le temps et sur son parcours
9	Établir les programmes en prenant en compte toutes les contraintes simultanément. Les délais de fabrication sont le résultat d'un programme et ne peuvent donc pas être prédéterminés	Établir le programme de manière séquentielle en fixant la dimension du lot, puis en calculant le jalonnement, puis en définissant les priorités en ajustant le programme aux jalonnements et enfin en ajustant le programme selon les contraintes de capacité et en recommençant les trois opérations précédentes

Résumé

Contrairement à la vision classique supposant que « la seule manière d'atteindre l'optimum du système global est d'obtenir les optimums locaux », OPT affirme que « **la somme des optimums locaux n'est pas l'optimum du système global** ».

8
Les outils principaux du progrès permanent

8.1 Progrès permanent et management participatif

Les outils méthodologiques seuls sont insuffisants pour qu'une entreprise progresse et atteigne l'excellence : encore faut-il que les salariés adhèrent et participent activement à cette politique de progrès permanent.

Le style de management doit changer afin de motiver le personnel et lui permettre d'évoluer vers plus de responsabilités, d'autonomie et de compétences afin d'obtenir la meilleure performance globale pour l'entreprise.

D'après Philippe Hermel[72], le management participatif est « une forme de management favorisant la participation aux décisions, grâce à l'association du personnel à la définition et à la mise en œuvre des objectifs le concernant ».

---

[72] *Cf.* l'ouvrage *Le management participatif, sens, réalités, actions*, Éditions d'Organisation.

8.1.1 Origine du management participatif

De la fin du 19e au début du 20e siècle, le « Taylorisme[73] » représentait le modèle industriel prédominant. L'Organisation scientifique du travail (OST) de Taylor consistait à décomposer le travail en tâches simples et répétitives, en les rationalisant afin d'obtenir un rendement optimum. Le « Fordisme » utilisa largement ce type d'organisation et l'appliqua au « travail à la chaîne » pour l'industrie automobile. Charlie Chaplin immortalisa ce travail dans son film « Les Temps Modernes ». Dans ce modèle, les salariés étaient spécialisés (OS) et rémunérés sur la base de leur rendement individuel. Le déclin commença dans les années 1960, aux États-Unis où les syndicats dénoncèrent « l'abrutissement des salariés au travail », suivis en cela par les pays occidentaux qui avaient aussi adopté ce type d'organisation.

Le management participatif vient en réaction au taylorisme et prend son essor à la suite du premier choc pétrolier qui mit en évidence de grandes faiblesses dans cette organisation : non qualité importante (rebuts, retouches), très peu de flexibilité sur les produits (faible diversité) et sur le volume de production (peu adapté aux petites séries).

8.1.2 Fondements théoriques du management participatif

- **L'école des relations humaines**

Ce mouvement intellectuel, né après la crise de 1929, vise à replacer l'homme au travail comme un élément central du système de production par opposition au taylorisme. Elton Mayo, Kurt Lewin ou Abraham Maslow figurent parmi les principaux représentants.

Elton Mayo (1880-1949) débuta sa recherche en 1924 à l'usine Western Electric de Hawthorne près de Chicago. Il découvrit l'importance des phénomènes affectifs, du besoin d'appartenance, d'estime et mit en évidence deux résultats :

– L'effet « Hawthorne » : l'intérêt porté aux travailleurs par la direction (considération, valorisation) est à l'origine d'augmentation de productivité.
– Le salaire n'est pas le moteur principal du rendement.

---

[73] Du nom de l'ingénieur américain Frederick Winslow Taylor (1856-1915).

Kurt Lewin (1890-1947) s'attache à étudier la dynamique de groupe et expérimente la performance du travail en fonction de différents styles de management :

– « autoritaire », classique dans l'organisation taylorienne,
– « laisser-faire », pas de consigne, le dirigeant laisse les individus décider,
– « démocratique », gestion d'un groupe plutôt que des individus avec émergence d'un leader.

Il en arrive à la conclusion que le style démocratique apporte une grande coopération entre les individus, une qualité de production nettement supérieure (malgré une quantité inférieure au style autoritaire), une capacité à s'auto-réguler et à poursuivre la production en l'absence du leader.

Abraham Maslow (1908-1970) tente de clarifier les besoins de la personne par la psychologie et met au point une pyramide de besoins hiérarchisés, voir figure 8.1.

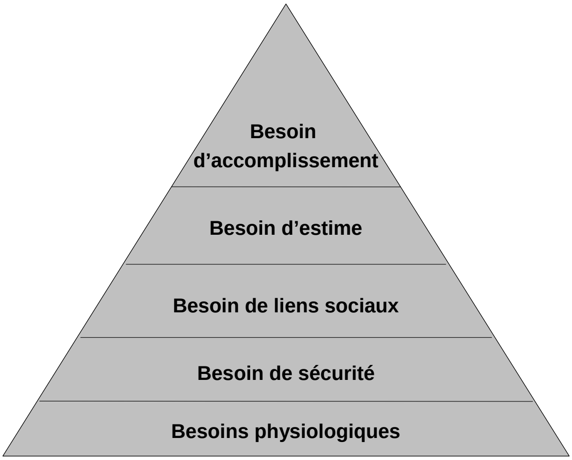


Figure 8.1 La pyramide des besoins de Maslow

Maslow montre les limites de la rémunération : elle ne satisfait que les besoins physiologiques (se nourrir, boire) et le besoin de sécurité (se loger, avoir un emploi, par exemple). Ensuite, l'augmentation de la motivation passe par des besoins moins primaires.

Cependant, il est important de rappeler que le besoin supérieur ne peut être satisfait que si les précédents le sont.

- **La Théorie X – Y de Mc Gregor**

Douglas Mc Gregor (1906-1964), est l'auteur d'une théorie de la motivation humaine développée au Massachusetts Institude of Technology (MIT) dans les années 1960 : la théorie X – Y basée sur deux profils :

– **Théorie X**

Les salariés sont intrinsèquement paresseux, n'aiment pas travailler, sont improductifs sans une étroite surveillance et ne travaillent que sous la contrainte. Ils se montrent sans ambition et fuient la responsabilité dès que possible. Afin de les contrôler efficacement, une structure hiérarchique est nécessaire.

Les gestionnaires de la théorie X considèrent que l'argent est le seul intérêt au travail pour le salarié, que son rôle consiste à structurer et dynamiser le travail en adoptant une attitude autoritaire fondée sur la menace de la punition. La théorie X est voisine du taylorisme.

– **Théorie Y**

Les salariés peuvent être ambitieux, motivés, désireux d'accepter une plus grande responsabilité et autonomie (auto-contrôle, auto-direction…). Ils savent se montrer très créatifs et donner le meilleur d'eux-mêmes, à condition de leur en donner la possibilité.

Les gestionnaires de la théorie Y estiment que la plupart des personnes, placées dans un contexte favorable, veulent réussir au travail et qu'il existe une mine de créativité inexploitée de la main-d'œuvre.

Mc Gregor conforte l'approche de Maslow en s'appuyant sur les trois étages supérieurs de la pyramide pour fonder sa théorie Y. Les deux premiers étages (besoins physiologiques et sécurité) demeurent des prérequis et concrètement il est inutile d'appliquer la théorie Y avec des salariés sous-payés dans une entreprise privée de vision stratégique ou floue (besoin de sécurité non assuré).

Par cette théorie, Mc Gregor suggère un mode de management différent, moins autoritaire et plus participatif qui peut se traduire sous la forme d'un cercle vertueux : l'implication de l'individu l'incite à prendre des initiatives avec par voie de conséquence une application au travail qui l'implique encore plus dans son organisation. Contrairement au taylorisme (théorie X), l'accroissement de la motivation semble plus passer par l'enrichissement des tâches que par leur organisation.

- **La typologie de Likert**

Rensis Likert (1903-1981) est un psychologue américain dont la renommée repose sur son apport dans le domaine de la psychométrie et la mesure des attitudes ainsi que sur sa recherche en management concernant les styles de « leadership ». Il propose une typologie basée sur quatre catégories de manager :

– **Le manager exploiteur** utilise un système décisionnel et communicatif à sens unique (du sommet à la base, dans une structure hiérarchique pyramidale) et a principalement recours à la peur et à la menace pour diriger ses salariés.

– **Le manager paternaliste** promet plus qu'il n'agit. La communication reste essentiellement descendante (comme le modèle précédent), à quelques rares exceptions de décisions pouvant être déléguées.

– **Le manager consultatif** s'appuie sur l'avis de ses salariés, la communication est à double sens.

– **Le manager de style participatif** invite les salariés à participer aux décisions dans le cadre de groupes. Le système de communication est à la fois « vertical et horizontal »[74], l'information est accessible (pas de rétention) et circule librement.

Selon Likert, le management participatif est le plus efficace. Dans ce cadre, la détermination des objectifs est une responsabilité collective et la décision est prise par consensus.

- **L'échelle de Blake et Mouton**

Deux Américains, le médecin Robert R. Blake (1918-2004) et le psychologue Jane S. Mouton (1930-1987), publient dès 1964 une grille représentant les divers comportements du manager (figure 8.2.)

La grille utilise deux échelles (graduées de 1 à 9) :

– **L'intérêt porté aux tâches de production**, en d'autres termes l'attention apportée aux activités, aux décisions, aux structures, aux procédures et aux méthodes.

– **L'intérêt porté aux hommes**, c'est-à-dire la considération des besoins, des attentes et de la personnalité des salariés.

---

[74] Cette expression signifie que la communication a lieu entre les niveaux hiérarchiques (vertical), mais aussi entre les fonctions de même niveau hiérarchique(horizontal), par exemple entre bureaux d'études et méthodes.

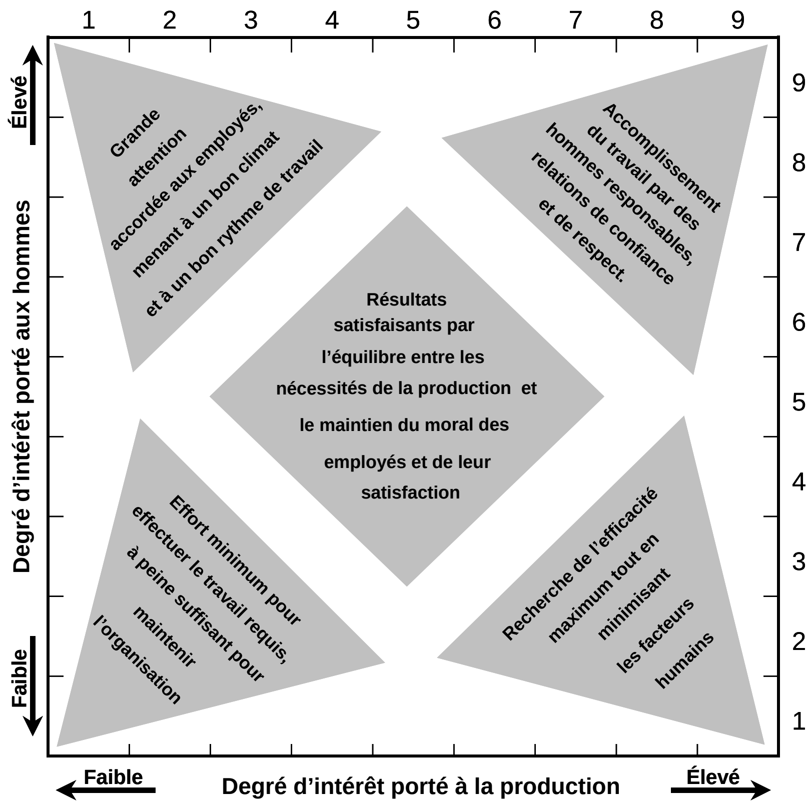


Figure 8.2 La grille de Blake et Mouton

Parmi les cinq styles de manager représentés, l'idéal est celui qui trouve le bon équilibre entre la tâche à réaliser et le développement de l'individu, coordonnées (9 ; 9) sur la figure ci-dessus.

Le manager s'appuie sur un travail d'équipe dans les phases de planification, d'organisation et de contrôle du travail en recherchant l'implication et la participation de tous pour atteindre la performance globale et les objectifs fixés. Il utilise un type de relation « adulte-adulte »[75], assure la confiance envers ses salariés, délègue les responsabilités et gère les conflits éventuels.

---

[75] Référence à l'analyse transactionnelle.

- **La Théorie « Z » de William Ouchi**

William G.Ouchi (né en 1943) est professeur de management à « l'Anderson school of management » d'UCLA (University of California, Los Angeles) depuis 1979. À partir de ses études comparatives entre les styles de gestion des entreprises américaines et japonaises, il publie en 1981 « la théorie Z » qui est l'extension de la théorie XY de Mac Gregor.

Il constate que le modèle occidental se situe à l'opposé du modèle japonais :

Type A (entreprise américaine)	Type J (entreprise japonaise)
Emploi à court terme	Emploi à vie
Prise de décision individuelle	Prise de décision par consensus
Responsabilité individuelle	Responsabilité collective
Évaluation rapide des promotions	Évaluation et promotion lentes
Contrôle formel et explicite	Contrôle informel et implicite
Carrières spécialisées	Carrières non spécialisées
Préoccupations divisées	Préoccupations holistiques (concerne l'ensemble, la totalité)

Il nomme entreprise « Z » les sociétés américaines qui ont de nombreuses caractéristiques communes avec les entreprises japonaises et s'efforce de comprendre les raisons de leur réussite.

La mise en œuvre de la théorie Z se décline en treize phases suivant un ordre logique, partant du sommet hiérarchique jusqu'à la base.

Une vision synthétique de ces phases peut être la suivante :

1. Définir la philosophie de l'entreprise (phases 1 à 3)

   La direction de l'entreprise s'implique totalement et recherche l'adhésion de ses collaborateurs. Familiariser l'encadrement avec le modèle de type « Z » afin de bien le comprendre et examiner précisément la situation actuelle et à venir de l'entreprise sont des préalables à la définition de la philosophie recherchée. Celle-ci est la base de toute entreprise Z, elle doit être soigneusement élaborée, souvent sous la forme d'un livret : il s'agit de la culture d'entreprise. Elle permet aux employés d'unir leurs activités en partageant des buts et des valeurs communes.

2. Mettre en œuvre la philosophie (phases 4 à 6)

   L'adoption de structures et de stimulants adaptés doit favoriser la coordination tacite à l'image d'un « clan ». Les techniques de communication, capitales pour une entreprise « Z », sont largement développées et le droit à l'erreur est reconnu. Une phase test permet de vérifier les objectifs des premières innovations au niveau de l'encadrement supérieur, notamment avant de poursuivre en direction de la base, de convaincre les sceptiques et de calmer l'enthousiasme exagéré.

3. Modifier la gestion des ressources humaines (phases 7 à 10)

   La recherche d'un canal de communication efficace avec les employés est nécessaire pour passer à un style de gestion démocratique et gagner la confiance des salariés : établir des relations de travail productives entre syndicats et Direction permet d'atteindre ce but.

   La politique adoptée vise la stabilité de l'emploi : un environnement de travail juste et équitable et une participation du personnel aux décisions importantes évitent les départs volontaires. En cas de difficultés, les efforts sont partagés par tous (actionnaires comme salariés).

   L'adoption du système « d'évaluation et de promotion lente » favorise la stabilité de l'emploi : par exemple, le départ de jeunes employés de valeur est évité en proposant une promotion rapide du groupe de salariés par rapport à la concurrence mais lente par rapport à leurs égaux (acquisition d'une vision à long terme) ou par d'autres actions non liées à la rémunération (formation et conseils personnalisés, travail régulier avec ses supérieurs dans le cadre de projet…).

   L'élargissement des possibilités de carrière favorise la connaissance pluridépartementale et encourage le mélange d'experts travaillant à la résolution d'un même problème, constituant ainsi un système coopératif efficace intégrant l'ensemble des éléments de l'entreprise « Z ».

4. Rechercher l'adhésion de tous (phases 11 à 13)

   Contrairement à l'habitude, les réformes sont introduites à la base à la fin de la démarche. Le changement part du sommet de la hiérarchie, fait apparaître de premiers résultats qui permettent de progresser jusqu'à la base (plus d'actes que de discours).

   La participation est recherchée systématiquement dans tous les secteurs identifiés en privilégiant la réflexion par groupe plutôt que les suggestions individuelles et en réalisant les améliorations suggérées.

Le développement des relations globales est encouragé, aidant à maintenir la nature égalitaire de l'entreprise (en plaçant supérieurs et subalternes sur un pied d'égalité), la libérant de toute emprise paternaliste et favorisant le développement des relations directes.

Les premiers effets au niveau de l'encadrement sont perceptibles au bout de deux années et au niveau des ateliers et bureaux au bout de dix à quinze ans

8.1.3 Description du management participatif

Le management participatif se traduit par un style de gestion des individus intégrant leur comportement (relations humaines) et favorisant leur implication, leur engagement et leur contribution à la démarche de progrès permanent de l'entreprise. Le manager consulte les salariés, discute des problèmes et retient une décision commune. Le respect des individus est fondamental dans ce mode de management.

- **Principes**

Le management participatif repose sur quelques principes simples :

– **Mobiliser le personnel**

L'adhésion et l'implication du personnel, nécessaires à toute démarche de progrès, requièrent une attitude favorisant la communication, l'écoute, la collaboration et l'esprit d'équipe. La mise en œuvre de ce travail d'équipe nécessite souvent une adaptation des structures.

– **Déléguer les pouvoirs et régler les problèmes directement au niveau où ils apparaissent**

La participation implique le plus souvent le partage des responsabilités dans les différents niveaux organisationnels. La confiance est bien évidemment nécessaire, mais doit être accompagnée par une définition claire et précise des limites de la responsabilité déléguée. Le principe de subsidiarité prévaut : le pouvoir décisionnel accordé au niveau inférieur ne doit pas figurer au niveau supérieur. Cette délégation de pouvoirs permet de traiter les problèmes au plus près du lieu de leur apparition par le niveau fonctionnel correspondant.

– **Former le personnel**

De nouvelles compétences apparaissent et il est nécessaire d'associer un programme adéquat de formation lors de l'élargissement des tâches des salariés. Ils sont capables d'auto-contrôler leur travail mais il faut cependant accepter un droit à l'erreur (évolution des mentalités).

- **Conditions de réussite**

Les principales conditions pour ce mode de management sont les suivantes :

– **L'attitude de la direction**

La direction doit être convaincue des apports de ce type de management et éviter les discours de « façade ».

Elle doit créer un climat de confiance dans lequel les collaborateurs pourront exprimer librement leurs idées et seront respectés pour leur contribution.

– **La définition claire des objectifs et des priorités**

Au niveau d'un groupe d'individus, l'identification claire du problème, la formalisation des objectifs et le choix des priorités sont des facteurs importants de réussite. Il est également primordial de situer les actions entre elles et par rapport à la vision stratégique de l'entreprise. Certaines grandes sociétés n'hésitent pas à communiquer aux salariés (et aux visiteurs) la décomposition de cette vision en différents projets eux-mêmes décomposés en une multitude d'actions sur le terrain. Ce chaînage visible et lisible des projets, depuis le top management jusqu'aux opérateurs, permet à chacun de situer son action par rapport aux objectifs stratégiques de l'entreprise et d'en comprendre le sens. Il offre aussi l'avantage d'orienter l'ensemble du personnel suivant les mêmes priorités et renforce le sentiment d'appartenance.

– **L'évolution du personnel**

Le personnel évolue dans ce type de management par :

– **La responsabilisation**

De nouvelles responsabilités et/ou de plus importantes favorisent la motivation du salarié. Le plus souvent **l'enrichissement des tâches** constitue le premier palier. Grâce à des formations adéquates, le salarié devient fréquemment responsable des priorités d'exécution du travail, du réglage du poste, de la maintenance de premier niveau de l'autocontrôle de la qualité du produit réalisé. En cas d'anomalie, le droit à l'erreur est admis mais il participe à la recherche de solutions pour éviter le renouvellement de celle-ci. Un deuxième palier est obtenu par la rotation des postes (élargissement des tâches), permettant à l'opérateur d'acquérir plus de **polyvalence**. Sa responsabilité ayant augmenté, le salarié a un travail plus varié et plus motivant. L'entreprise quant à elle dispose d'un système plus réactif et plus flexible, plus fiable et plus productif.

– **La participation**

Le travail en équipe suppose de nouvelles compétences comme rechercher et partager les informations, animer une réunion ou réaliser une formation. Ces compétences se développent, le plus souvent, à travers les groupes de résolution de problèmes et à partir de formations spécifiques.

– **L'autonomisation**

L'autonomie accordée au groupe dans ce type de management se traduit souvent par la responsabilité d'une production. Les équipes autonomes[76] responsables d'îlots de production en sont un bel exemple. Les membres de l'équipe ont en charge le fonctionnement optimal de l'îlot en ayant la responsabilité de prendre les décisions adéquates pour assurer la production et la qualité, de mesurer la performance et d'atteindre les objectifs fixés et de décider des actions d'amélioration à mener.

– **La communication**

L'ambiance de travail dépend en grande partie de la communication. Une équipe autonome dispose généralement sur son îlot d'un espace communication envers les membres du groupe mais aussi vis-à-vis des fonctions supérieures. Les indicateurs de performance, de sécurité, le plan d'actions et le suivi figurent généralement dans cette zone.

L'entreprise diffuse également un certain nombre d'informations concernant la vision d'entreprise, les objectifs, les projets et leur suivi. Les technologies de l'information et de la communication facilitent la mise en œuvre de systèmes performants et réactifs. En plus de la communication interne, les entreprises développent davantage une communication externe favorisant l'échange d'expérience et l'amélioration de l'image de marque.

- **La mise en œuvre**

Le recours à des groupes d'amélioration ou de progrès est un élément caractéristique de la mise en œuvre du management participatif. Suivant l'époque et/ou les objectifs, les groupes ont différentes appellations.

---

[76] Très souvent réalisé après un programme 5S/TPM.

– **Les groupes de résolution de problèmes**

Nommés « **cercles de qualité** » dans les années 1980 et apparus au Japon dans les années 1960, ces types de groupes se constituent afin de résoudre un problème spécifique et regroupent les personnes directement concernées (généralement pluridisciplinaire).

Ils portent également le nom de **groupes de progrès** ou de **groupes de travail**. Ils sont utilisés localement au niveau opérationnel (production, la maintenance…) et concernent principalement les opérateurs, techniciens et encadrement de proximité. Un animateur se charge de fixer les objectifs et d'assurer le bon déroulement du travail au sein du groupe.

La plupart des outils méthodologiques détaillés dans les paragraphes suivants de ce chapitre sont employés dans le cadre de ce type de groupe de travail.

D'une manière générale, la démarche d'un groupe de résolution de problème est la suivante :

1. **Identifier** le problème prioritaire, en fonction des constats réalisés sur le terrain et/ou proposés par le niveau hiérarchique supérieur.
2. **Définir** précisément le problème, en le faisant reformuler par le groupe et en fixant l'objectif visé.
3. **Rechercher** les causes potentielles, les hiérarchiser et définir celles qui sont jugées fortement influentes par le groupe.
4. **Analyser** les causes retenues et **rechercher** des solutions en vue d'améliorer le problème ou d'y remédier.
5. **Proposer** à l'encadrement les actions envisagées et **réaliser un plan d'actions** retenues pour la mise en œuvre, en précisant les responsabilités et le délai prévisionnel.
6. **Réaliser** le suivi du plan d'actions, **mesurer** les résultats obtenus et **décider** de poursuivre ou non par rapport à l'objectif initial.
7. **Diffuser** les solutions efficaces à d'autres secteurs qui auraient un problème similaire (**déploiement de l'action**). Cette phase repose sur l'efficacité de la communication et du système utilisé.

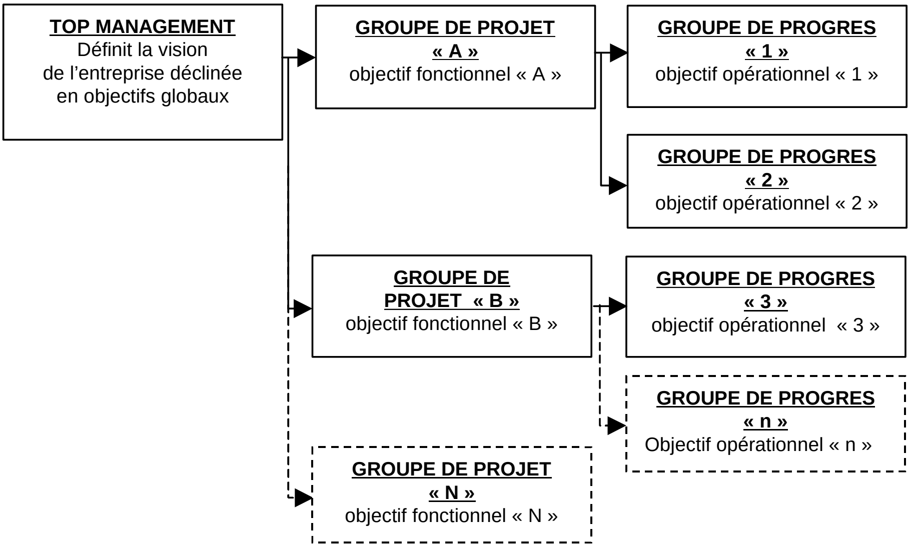
– **Les groupes de projet**

À la demande de la Direction, ces groupes étudient généralement des sujets organisationnels spécifiques.

Également nommés **groupes de travail**, ils couvrent souvent des problèmes transverses aux directions fonctionnelles et concernent principalement les cadres et la maîtrise spécialisée.

– **La vision globale**

Les sujets traités par les groupes d'amélioration sont en accord avec les objectifs stratégiques de l'entreprise et cohérents entre eux. Le « chaînage » entre les groupes et les objectifs peut être représenté schématiquement à l'aide l'arborescence ci-après.



Ainsi, chaque groupe peut situer la finalité de son action et sa contribution à la réalisation de la vision stratégique définie par le « top management ». C'est pourquoi certaines entreprises n'hésitent pas à communiquer cette vision globale à tous les niveaux de l'entreprise, parfois même l'affichent dans le hall d'accueil à l'intention des visiteurs, à titre d'information.

8.2 Diagramme de Pareto

Cette méthode porte le nom de son créateur qui mit en évidence que 20 % des contribuables payaient 80 % des impôts (diagramme de Pareto ou loi de Pareto). La loi des 20/80 ou la méthode A, B, C sont les autres terminologies rencontrées pour cet outil.

8.2.1 Principe et domaine d'application

Il s'agit de trier et de classer des données par ordre d'importance en fonction d'un critère de valeur retenu afin de mettre en évidence l'essentiel d'un phénomène. Les domaines d'application sont variés. À titre d'exemple, nous pouvons citer :

- Au niveau du chiffre d'affaires, identifier les articles les plus importants en vue de définir les actions à mener en production et au niveau commercial.
- Dans le cadre de la gestion des stocks, classer les articles selon l'ordre décroissant de leur valeur de consommation annuelle ou selon d'autres critères. Le résultat est alors habituellement distribué en trois classes d'importance (A,B,C).
- Dans le domaine de la conception, rechercher les produits ou les composants les plus représentatifs (CA, coûts) afin de les optimiser en priorité.
- Dans le domaine de la production, identifier les gammes les plus représentatives afin d'engager des actions d'amélioration, dégager les postes les plus importants pour définir une politique d'investissement.
- Dans le domaine de la maintenance, un tri successif suivant plusieurs critères permet souvent de mettre en évidence les causes principales d'un dysfonctionnement.
- Dans le domaine de la qualité ou de l'amélioration de la productivité, le tri de données suivant un ou plusieurs critères permet de définir les priorités d'actions à mener…

Généralement, le terme de « **20/80** » est utilisé lorsque deux catégories sont créées (importants et faibles). Le terme de « **classification A, B, C** » est employé lorsque trois catégories sont créées :

- classe A : forte importance,
- classe B : importance normale,
- classe C : faible importance.

Le diagramme de Pareto se présente habituellement sous la forme d'un diagramme à fréquence cumulée alors que la loi 20/80 ou la méthode A, B, C utilisent une représentation sous forme de courbe cumulée.

La détermination des zones (20/80 ou A, B, C) varie suivant les sources bibliographiques utilisées. Certains utilisent des techniques graphiques ou analytiques reposant sur la détermination d'un point de tangence à la courbe

puis à des écarts par rapport à ce dernier, d'autres définissent des valeurs usuelles pour les classes, à titre d'exemple :

– limite de fin de la classe A entre 70 et 80 %,
– limite de fin de la classe B entre 90 et 95 %.

Le plus important n'est pas la détermination des zones mais le choix des critères de tri en fonction des objectifs de l'étude.

8.2.2 **Exemple** (domaine de la gestion de stocks)

On désire classer 10 articles selon la classification ABC dont les quantités annuelles consommées et les valeurs unitaires sont les suivantes :

Article	Valeur unitaire	Quantité consommée	Valeur totale
001	70	500	35000
002	80	20	1600
003	155	400	62000
004	18	230	4140
005	20	50	1000
006	50	160	8000
007	55	100	5500
008	120	100	12000
009	120	175	21000
010	45	70	3150

Il s'agit de classer les différents articles par ordre décroissant en fonction d'un critère donné. Ici, le critère « valeur totale consommée » par article est retenu. Les valeurs cumulées sont ensuite calculées ainsi que les % et les zones A, B, C peuvent être déterminées.

	Article	Valeur totale consommée	Valeur totale cumulée	% Valeur totale cumulée
A	003	62000	62000	40,4%
	001	35000	97000	63,2%
	009	21000	118000	76,9%
B	008	12000	130000	84,8%
	006	8000	138000	90,0%
C	007	5500	143500	93,6%
	004	4140	147640	96,3%
	010	3150	150790	98,3%
	002	1600	152390	99,3%
	005	1000	153390	100,0%
	TOTAL	153390		

Enfin, on trace la courbe (figure 8.3) des pourcentages cumulés du critère donné, où l'abscisse représente les éléments à classer et l'ordonnée représente les pourcentages cumulés du critère.

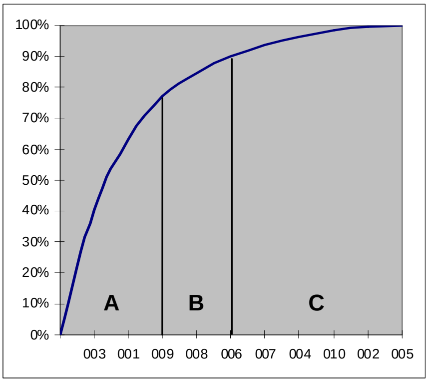


Figure 8.3 Courbe A, B, C

Suivant les limites choisies, on peut noter que :

– les articles 003, 001, 009 représentent 76,9 % de la valeur totale : ils représentent la classe A,

– les articles 008, 006 : ils représentent la classe B,

– les articles 007, 004, 010, 002 et 005 : ils représentent la classe C.

Le même exemple pourrait être représenté sous la forme d'un histogramme à fréquence cumulé (souvent appelé diagramme de Pareto), (figure 8.4).

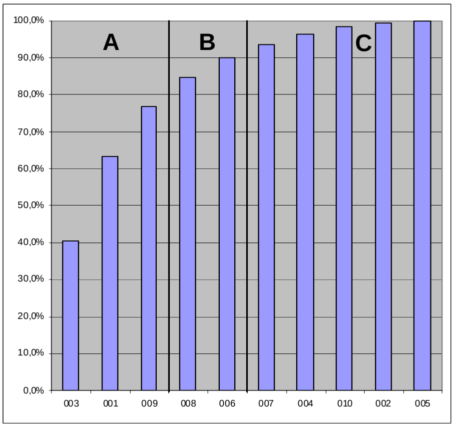


Figure 8.4 Diagramme de Pareto

Remarques : La courbe (ou le diagramme) constitue un outil visuel très intéressant dans le cadre d'un groupe de travail qui découvre les résultats et doit rechercher ensuite des améliorations. En dehors de ce contexte, il n'est pas nécessaire de tracer les graphiques : les limites de zones sont positionnées directement sur le tableau de calcul.

8.3 QQOQCCP

Cet outil consiste à répondre à sept questions : Quoi ? Qui ? Où ? Quand ? Comment ? Combien ? Pourquoi ?

Il aide à bien formuler le problème à partir des informations collectées. En effet, une bonne formulation facilite la compréhension et la recherche de solution qui en découle : « **un problème bien posé est un problème à moitié résolu** ».

Questions	Explication	Exemple	
Quoi ?	De quoi s'agit-il ? Quelle insatisfaction ? Quelle défaillance ? Quel but ? …	Produit, ressources, méthode, opération…	**Pourquoi ?**
Qui ?	Qui est impliqué ? Qui prend en compte ? Avec qui ? Pour qui ? Qui peut déceler la défaillance ?…	Responsable, opérateur, contrôleur, maintenance…	
Où ?	En quel lieu ? Sur quel trajet ?…	Services, atelier, ligne de process, transfert inter-postes…	
Quand ?	À quel instant ? À quelle fréquence ?		
Comment ?	Comment procède-t-on ?	Procédure, moyens, matériel, manière...	
Combien ?	Valorisation ?	Temps, argent, quantité, %…	

À chaque question, se demander « pourquoi ? »

8.4 Cinq « Pourquoi ? »

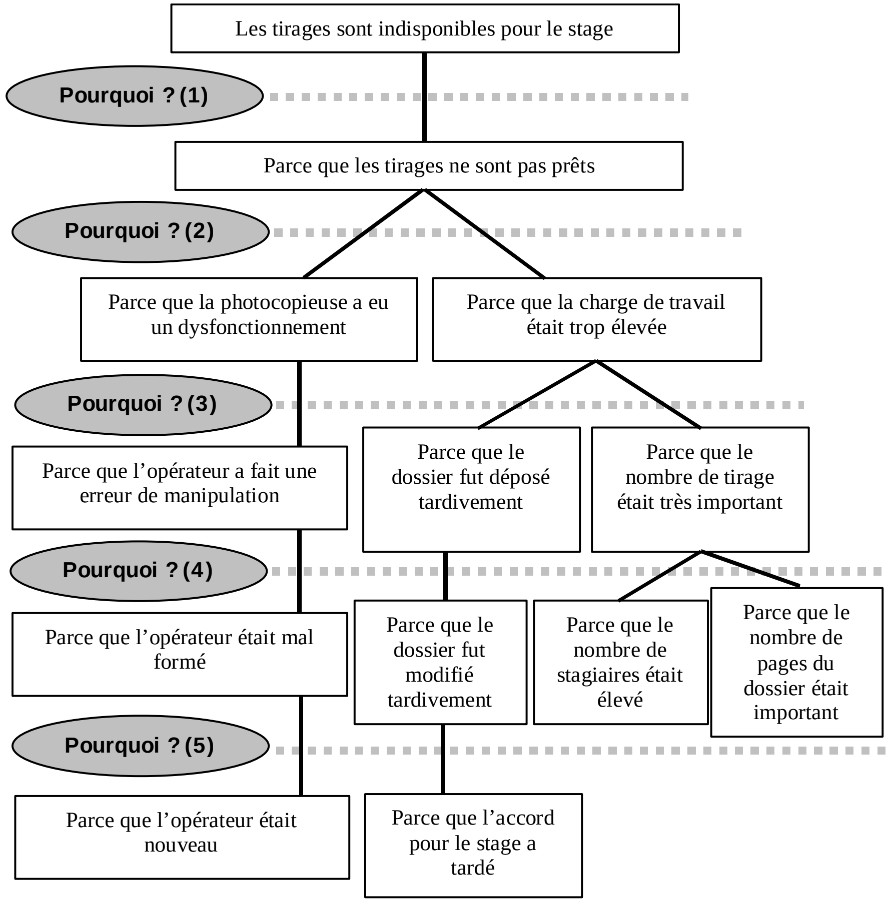
Par un questionnement systématique, cet outil permet de remonter aux causes premières d'un dysfonctionnement ou d'une situation observée.

Son utilisation consiste à répondre à la question « Pourquoi ? », au moins cinq fois de suite. Formaliser la réponse en commençant par « parce que » facilite la remontée vers la cause première.

La visualisation des cinq niveaux (ou plus) peut être réalisée sous la forme d'un graphique arborescent (type arbre des causes ou autre).

Exemple :

Pourquoi les tirages ne sont pas disponibles pour le stage de formation ?



8.5 Outils de créativité

8.5.1 Le remue-méninges (*Brainstorming*)

Technique de créativité très connue, elle permet de générer un maximum d'idées sur un thème donné.

- **Règles à respecter**

– **L'impartialité**

Ne pas censurer, ni critiquer, ni commenter, ni juger les idées émises. L'animateur note toutes les idées.

– **L'imagination**

Les participants laissent libre cours à leur imagination et doivent tout dire sans chercher une justification. La quantité d'idées émises reste la priorité.

– **L'inspiration**

S'inspirer des idées des autres afin de les enrichir, de les compléter ou pour en dégager de nouvelles (pillage d'idées).

- **Déroulement**

Pour réussir un remue-méninges, il convient :

– de définir le thème, l'objectif (préciser le sujet sous forme de question),
– de communiquer les règles à respecter,
– de laisser cinq à dix minutes aux membres du groupe pour noter individuellement toutes leurs idées sur une feuille,
– que les participants expriment à tour de rôle une idée à la fois, l'animateur inscrivant les idées au tableau (papier),
– que l'animateur puisse relancer éventuellement la production d'idées en reformulant le sujet, en donnant quelques pistes qui provoquent la réaction des participants, en décomposant les idées complexes…,
– que l'animateur relise avec le groupe toutes les idées, afin de regrouper celles qui sont de même nature, de reformuler ou de préciser les moins claires et d'éliminer (en accord avec le groupe) les idées hors sujet.

8.5.2 Autres techniques de créativité

Ces techniques sont couramment associées au remue-méninges afin de favoriser la production d'idées.

Techniques	Explications
Association	
Analogie	Recherche et comparaisons de phénomènes ou de situations analogues
Mots inducteurs	Recherche à partir de mots qui déclenchent des idées nouvelles
Croisement	
Matrice de découverte	Combinaison d'éléments de différente nature (matériaux, assemblage, finition…)
Synectique	Rapprochement et combinaison d'éléments semblant hétérogènes
Dépaysement	
Transposition	Se placer dans un autre contexte
Idéalisation	Se situer dans les conditions idéales
Exploration	Étendre son champ de recherche (revue, catalogue, magasin…)
Identification	S'identifier au produit ou au système étudié (si j'étais…)
Distanciation	Fuir les habitudes, prendre de la distance…
Déstructuration	
« Concassage »	Transformer mentalement l'objet ou le système (diminuer, agrandir…) et imaginer le résultat obtenu
Inversion	Inverser la situation
Sensualisme	Favoriser la perception par nos « sens » en donnant, par exemple, de la couleur, du relief, du son…

8.6 Méthode des « 5M »

Cet outil permet de rechercher et de classer suivant cinq familles prédéfinies les causes d'un dysfonctionnement :

- **Matière :** les consommables (matières premières, composants, énergie…).
- **Méthode :** les procédés.
- **Moyens :** ressources matérielles (machines, outillage, bâtiments, moyens financiers…).
- **Main-d'œuvre :** ressources humaines.
- **Milieu :** l'environnement (conditions de travail, ambiance, relation client-fournisseur…).

Le plus souvent, la mise en relation des causes et des familles est réalisée sous forme d'un tableau, comme ci-dessous.

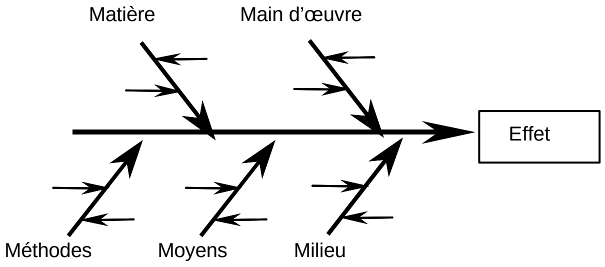
Problème (effet) / **Causes**	**Matière**	**Méthode**	**Moyens**	**Main-d'œuvre**	**Milieu**
Personnel non qualifié				X	
Humidité de l'air trop importante					X
Humidité du bois trop élevé		X	X		
Qualité du matériau non conforme	X				
…					

8.7 Diagramme Causes-effet

Cet outil est une représentation graphique qui permet d'identifier et de classer, par famille, les causes possibles d'un problème. Il s'utilise dans le cadre d'un groupe de travail.

Synonymes

Ishikawa ou diagramme en arêtes de poisson (*fishbone diagram*).



Phases de construction du diagramme

L'élaboration d'un diagramme requiert les phases suivantes :

– définir précisément l'effet (problème),

– tracer une grande flèche horizontale en direction de l'effet (arrête principale),

– de part et d'autre de cette arête, tracer des flèches inclinées pour les familles de causes. Le groupe peut utiliser les « 5M » ou définir d'autres familles,
– inscrire les sous-familles et les causes (ramifications) proposées par le groupe. Le Brainstorming[77] est parfois utilisé à ce stade,
– laisser le diagramme affiché un certain temps (hors réunion) pour que les membres du groupe puissent ajouter d'autres causes,
– lorsque le diagramme n'évolue plus, réunir à nouveau le groupe pour définir les priorités (causes les plus probables) et engager la recherche de solutions.

8.8 Les « 5S »[78]

« **5S** » sont les initiales de cinq mots japonais que l'on pourrait traduire approximativement par :

– Seiri : débarrasser.
– Seiton : ranger.
– Seiso : tenir propre.
– Seiketsu : standardiser.
– Shitsuke : impliquer.

Les « 5S » concernent les ateliers mais aussi les bureaux. Ils accompagnent généralement une philosophie de progrès permanent (JIT, qualité totale) et s'inscrivent dans une démarche visant l'implication des hommes, avec à terme la mise en place d'équipes autonomes.

8.8.1 Démarche globale

Souvent la méthodologie des 5S est associée à la mise en place de TPM (*Total Productive Maintenance*) : ce n'est pas une obligation mais c'est une évolution possible et fréquente après un chantier 5S.

---

77 *Cf.* Paragraphe 9.4.1.

78 Inspiré de l'article « la démarche des 5S » par B. Alexandre (technologie et formation, n° 57) et de la méthodologie proposée par le cabinet conseil Proconseil, Paris.

Étape 1	Remettre à niveau Premier pas vers l'appropriation de la machine par les opérateurs
Étape 2	Organiser, optimiser Élimination des causes de salissures, modification des accès difficiles
Étape 3	Visualiser, formaliser Établissement des gammes de nettoyage et des règles de rangement
Étape 4	Pérenniser, progresser Maintien, amélioration et verrouillage des étapes précédentes
Étape 5	Former le personnel Formation aux techniques de la maintenance
Étape 6	Établir des listes d'opérations Création des gammes opératoires d'auto-maintenance
Étape 7	Mettre en œuvre l'auto-maintenance Initialisation et suivi des gammes et des fiches d'auto-maintenance et renforcement du comportement participatif
5S : étapes 1 à 4 / TPM : étapes 5 à 7	

8.8.2 Détail des quatre phases d'un projet 5S

Un projet « 5S » se décompose généralement en quatre grandes phases :

- Remettre à niveau (phase 1).
- Organiser, optimiser (phase 2).
- Visualiser, formaliser (phase 3).
- Perpétuer, progresser (phase 4).

Ces phases sont détaillées dans les tableaux suivants.

5S / Étapes	Débarrasser	Ranger	Tenir propre	Standardiser	Impliquer
REMETTRE À NIVEAU ⇩ Premier pas vers l'appropriation de la machine par les opérateurs Étape 1	Trier (utile/inutile) Jeter l'inutile Réparer ou remplacer ce qui est cassé ou manquant	Ranger ce qui est visible extérieurement : rien ne traîne Identifier les objets encombrants et mobiles Rendre accessible les organes de sécurité	Procéder au nettoyage extérieur initial Créer la première gamme de nettoyage Localiser les endroits difficiles à nettoyer Mettre en place des moyens d'évacuation des déchets Faire quelques retouches de peintures	Établir le référentiel photo initial et final Établir le référentiel fin de poste	Donner un nom et un logo Le personnel du territoire est formé Des réunions de projets existent Un tableau de communication existe Le référentiel rapide de fin de poste est utilisé

ORGANISER OPTIMISER Réaliser des modifications simples Étape 2	Diminuer le nombre d'éléments par standardisation : outils, postes, moyens de manutention…	Délimiter provisoirement les emplacements et réimplanter les objets identifiés. Choisir la méthode de rangement, établir et afficher les consignes de rangement, obtenir un rangement ergonomique Ranger l'intérieur Mettre en place un plan d'évacuation	Éliminer les causes de salissures (80%) Optimiser le nettoyage Écrire la nouvelle gamme de nettoyage à valeur ajoutée L'intérieur est propre Organiser le système d'évacuation des déchets	Retrouver les éléments de pilotage du processus (doc machine…) par rapport ISO ou référentiel interne Établir les documents manquants Mettre à jour le référentiel photos.	Affecter des responsabilités de zone Constater la progression du nombre d'idées Constater le respect des consignes 5S L'audit hebdomadaire progresse Le tableau de communication vit

VISUALISER FORMALISER Établir les gammes de nettoyage, les règles de rangement… Étape 3	Visualiser les zones récupérées pour empêcher physiquement toute intrusion de nouveaux objets et toute détérioration	visualiser les zones de travail, les objets, les emplacements et les zones de rangement Identifier 80 % des objets	Rechercher et rendre visibles toutes les causes de salissure et les éliminer (95 %) Rendre visuelles les gammes de nettoyage et le système d'évacuation des déchets Peindre l'équipement	Visualiser toutes les règles : démarrage poste…	Les savoir-faire 5S sont visualisés Le personnel sait présenter le tableau Entretenir le progrès permanent tous les jours Appliquer les gammes à valeur ajoutée

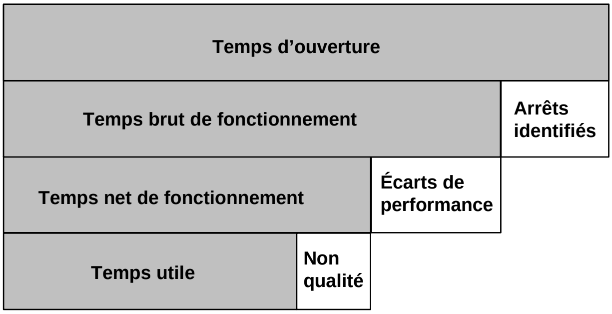
PÉRENNISER PROGRESSER Maintien dans le temps des « 5S » Étape 4	Poursuivre le travail de remplacement, de réparation et de standardisation Supprimer les gestes inutiles	Réduire l'espace occupé Réimplanter Peindre le sol et les allées	Supprimer de nouvelles causes de salissure (95 % → 100 %) Aller vers le chantier « écologique »	Améliorer et simplifier sans cesse la présentation des standards	Fixer des objectifs de plus en plus ambitieux Le tableau de communication est ouvert à des informations extérieures au projet Aller vers la maintenance autonome

8.9 TPM (*Total Productive Maintenance*)[79]

La TPM a pour **principal objectif** d'amener les équipements à leur rendement global maximum sur toute la durée de leur vie, en faisant participer tous les secteurs de l'entreprise et en associant tous les niveaux hiérarchiques. C'est un **système qui intègre** les efforts des différents services de l'entreprise vers l'obtention, le maintien, l'amélioration de l'efficacité réelle des équipements.

8.9.1 Les idées principales

- Ordre et Propreté **:** c'est une condition obligatoire, c'est pour cette raison qu'une action 5S précède le plus souvent un chantier TPM. Le 5S offre aussi l'avantage d'habituer les opérateurs à travailler en groupe de progrès autour d'objectifs qui visent l'amélioration de leur environnement immédiat (postes de travail) et qui de ce fait facilitent leur adhésion.
- **Connaissance des machines** : fonctionnement, performances, forces et faiblesses.
- **Suivi quotidien** : des performances des machines, des ateliers.
- **Objectif** : se fixer un objectif ambitieux et essayer de l'atteindre puis conserver les performances.
- **Associer tous les acteurs** : pour relever les données, suivre les évolutions, générer des idées, accroître les connaissances, garder la motivation.



Comme le montre ce schéma, différentes pertes viennent diminuer la productivité d'un poste de travail. Les « **arrêts identifiés** » regroupent les changements de série (réglage), la maintenance préventive (programmée) ou la

---

79 Inspiré de la Japan Management Association (JMA) développée dès le début des années 1980.

maintenance curative (panne) nécessitant une durée d'intervention importante, les approvisionnements, le préchauffage d'organes selon les technologies de matériel…

Les « **écarts de performances** » proviennent des aléas comme les pannes de très faible durée (donc non renseignées), les micros arrêts[80] (durée souvent inférieure à 5 minutes), des opérations d'optimisation de programme… De ce fait **la cadence réelle est toujours inférieure à la cadence nominale** et peut comporter une grande variabilité.

La « **non qualité »** concerne la production de pièces défectueuses parfois récupérables (au prix d'un surcoût), parfois directement rebutées (perte intégrale).

La TPM amène à définir clairement les différentes catégories de pertes et à les quantifier pour éviter de n'avoir comme seul élément disponible qu'une « impression » vague et subjective des opérateurs et chefs d'atelier essayant de justifier les performances médiocres de leurs postes de travail.

Les relevés nécessaires peuvent être conséquents, il faut donc éviter de transformer les opérateurs en « comptables » alors que leur fonction première reste la production de biens et non de données.

8.9.2 Les principaux indicateurs

Le **TRG** (taux de rendement global) également appelé **TRS** (taux de rendement synthétique) **est l'indicateur clé de la TPM**. Il intègre toutes les composantes du rendement du poste.

Le TRG (ou TRS) se définit par :

$$\text{TRG ou TRS} = \frac{\text{Temps utile}}{\text{Temps d'ouverture}} \times 100$$

---

[80] Les micros arrêts, en raison de leur durée très faible (inférieure à 5 minutes), sont généralement ignorés ; la TPM amène à les suivre, à les quantifier et à les analyser afin de les réduire ou de les supprimer.

On peut définir aussi :

- **Le taux de fonctionnement brut** (Tb)

$$\text{Tb} = \frac{\text{Temps d'ouverture} - \text{Temps d'arrêts}}{\text{Temps d'ouverture}} \times 100$$

- **Le taux de performance** (Tp)

$$\text{Tp} = \frac{\text{Temps net de fonctionnement}}{\text{Temps brut de fonctionnement}} \times 100$$

- **Le taux de qualité** (Tq)

$$\text{Tq} = \frac{\text{Quantité traitée} - \text{Quantité rebutée}}{\text{Quantité traitée}} \times 100$$

Remarque : le calcul du TRS ou TRG peut se faire à partir des trois ratios précédents :

$$\text{TRS ou TRG} = \text{Tb} \times \text{Tp} \times \text{Tq}$$

Des indicateurs de maintenance sont souvent utilisés :

- **Indice de fiabilité** : MTBF (*Mean Time Between Failure*)

  Traduit littéralement comme la durée moyenne entre les pannes.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Durée totale de marche (fonctionnement normal)}}{\text{Nombre d'arrêts}}$$

- **Indice de maintenabilité** : MTTR (*Mean Time To Repair*)

  Traduit littéralement comme la durée moyenne de dépannage.

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Durée totale d'arrêts (pannes)}}{\text{Nombre d'arrêts}}$$

- **Taux de disponibilité**

$$\text{Disponibilité} = \frac{\text{MTBF}}{(\text{MTTR} + \text{MTBF})}$$

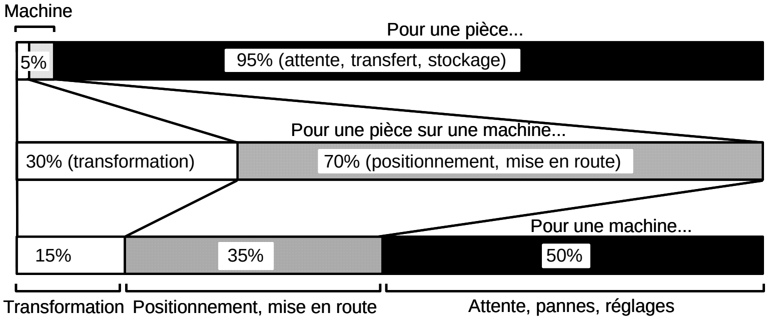
8.9.3 Quelques principes simples pour éviter les pannes

Principes	Opérateur	Maintenance
Respecter les préconisations du constructeur	Impératif	Impératif
Respecter les conditions d'utilisation	Impératif	Impératif
Remettre en état toute dégradation	Faire ou signaler	Faire et compléter l'historique
Améliorer les mauvaises conceptions	Signaler et suggérer des améliorations	Étudier, faire ou sous-traiter
Prévenir les défaillances humaines	Respecter les modes opératoires	Améliorer les techniques d'exploitation et de maintenance

8.10 Le SMED

SMED[81], signifiant *Single Minute Exchange of Die*, fut traduit par « changement d'outil en moins de 10 minutes ». Ce système fut mis au point par M. Shigeo Shingo pour Toyota au début des années 1970. Son objectif était de réduire les durées de changement de série, afin, par exemple, de diminuer les tailles de lot, produire le juste nécessaire…

8.10.1 Les réserves de productivité dans un atelier traditionnel



81 Principale source bibliographique : *Le système SMED*, Shigeo Shingo, Éditions d'Organisation.

Lors de réglages traditionnels, la répartition du temps est souvent la suivante :

Opération	Part du temps
Préparation, démontage, vérification de la matière, des outillages, jauges de contrôle...	30 %
Montage et démontage des outils	5 %
Centrage, réglage des dimensions et autres paramètres	15 %
Pièces d'essais et ajustement	50 %

8.10.2 Les concepts

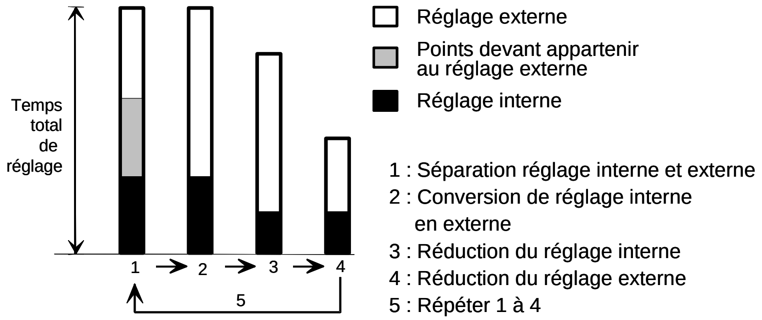
Les opérations de réglage sont de deux types :

– **Les réglages internes** concernent des opérations qui ne peuvent être réalisées qu'à l'arrêt du poste de travail.

  Au début de l'étude toutes les opérations sont donc considérées « internes ».

– **Les réglages externes** concernent des opérations qui pourraient être réalisées avant l'arrêt du poste de travail ou après sa remise en marche (par exemple : le nettoyage de l'ancien outil ou sa rentrée en magasin).

L'amélioration passe par **quatre stades conceptuels** :



Le stade 1 de la méthode consiste donc à recenser les opérations qui peuvent être réalisées durant le fonctionnement du poste (généralement gain de 30 à 50 % du temps de réglage à ce stade).

Le stade 2 correspond à des opérations passées en externe grâce à des modifications souvent minimes.

8.10.3 Techniques d'application

Ces techniques pratiques correspondent aux stades conceptuels précédents.

- **Stade 1**

– Utilisation d'une check-list de toutes les pièces et phases nécessaires pour un changement d'outil.

– Essai des fonctions afin de vérifier si toutes les pièces de la check-list sont en état de marche.

– Amélioration du transport des outillages et autres pièces.

- **Stade 2**

– Préparation à l'avance des conditions de l'opération.

– Standardisation de la fonction (*cf.* § 8.10.6, exemple sur presse).

- **Stade 3**

– Mise en œuvre d'opérations parallèles,

– Utilisation de serrages fonctionnels,

– Élimination (ou réduction) des ajustements, c'est-à-dire les pièces d'essai.

– Mécanisation de la manutention des outils, du blocage et déblocage des outillages…

- **Stade 4**

– Amélioration, par exemple, du stockage et du transport, des outils et des accessoires.

Ce stade de la méthodologie est particulièrement utile lorsque le SMED est utilisé dans un contexte JIT.

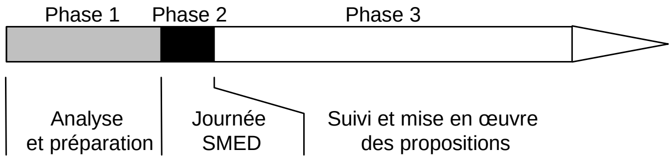
En effet, si le temps de réglage n'est plus un obstacle, la taille lot de production peut être réduite au juste nécessaire.

Dans ce cas, il se peut que la durée de fabrication du lot soit inférieure à la durée nécessaire pour réaliser les opérations externes, d'où la nécessité d'enclencher ce stade 4.

8.10.4 Déroulement global

Trois phases s'articulent autour de la « journée SMED » qui est une journée de travail de groupe.

Ces phases n'ont pas la même importance en durée comme le représente le schéma suivant :



8.10.5 Principaux effets

– Réduction des durées de réglage qui peut atteindre 1/40 du temps nécessaire à l'origine.
– Production par petits lots (le juste nécessaire) qui entraîne une forte réduction des stocks et des en-cours.
– Vitesse de flux améliorée car les files d'attente ont diminué (conséquence de la réduction des lots).
– Augmentation de la production des machines et de la capacité de production.

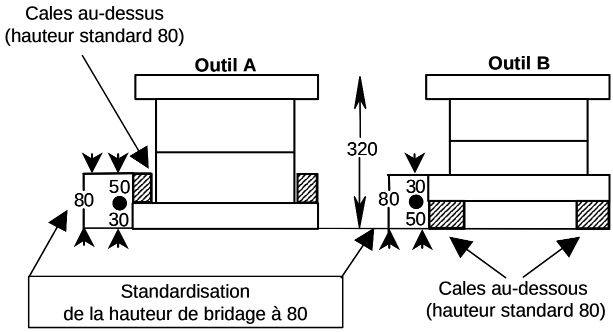
  Comme on intervient sur un poste « goulet », une heure gagnée sur ce poste est une heure gagnée pour tout le système, donc une heure de produit des ventes supplémentaire.
– Augmentation de la flexibilité de la production (réponse rapide aux changements de la demande).
– Réduction (voire suppression) des pièces d'essai, donc moins de gaspillage matière.
– Réduction des erreurs de réglage (procédures définies) et simplification du réglage.

  Cela provoque d'ailleurs l'adhésion des opérateurs qui voient leurs conditions de travail améliorées.
– Motivation des salariés qui participent à la recherche et à la mise en œuvre des solutions (management participatif).

8.10.6 Exemples d'application

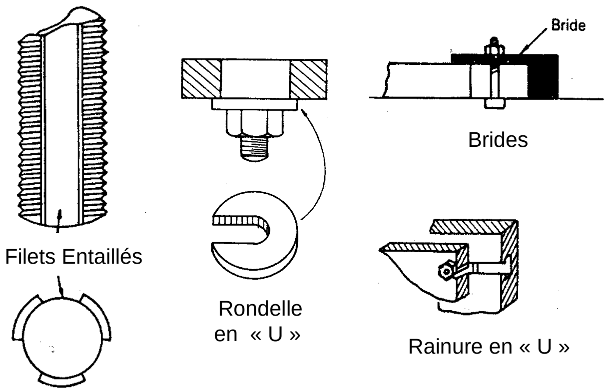
L'ouvrage de Shigeo Shingo comporte de nombreux exemples et de cas pratiques, les schémas suivants illustrent les idées principales.

- **Standardisation de fonction (stade 2) sur une presse à emboutir**

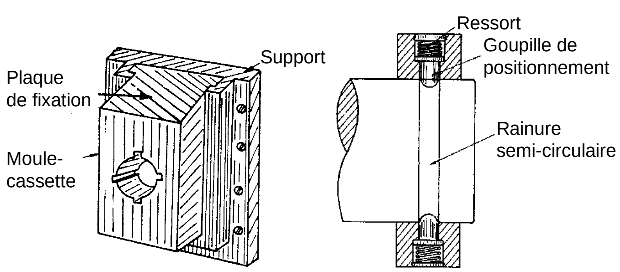


- **Serrages fonctionnels**

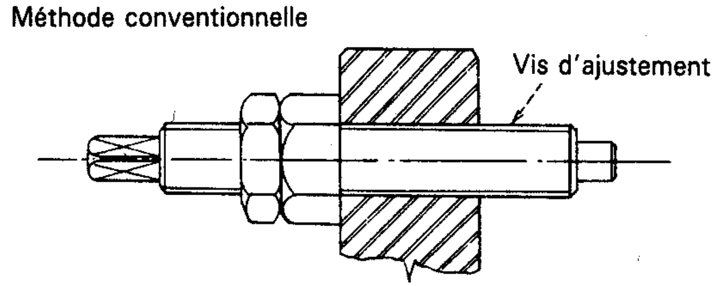
– Fixations « à un tour »



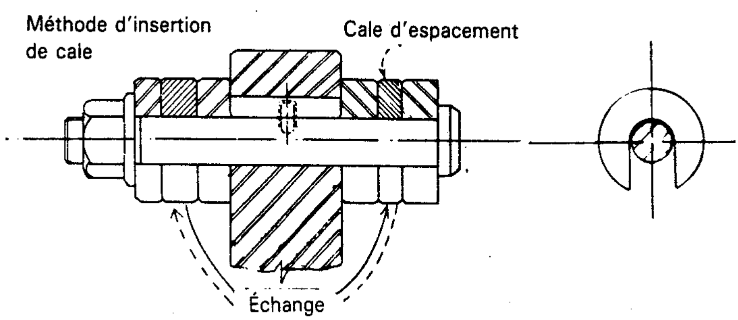
– Fixations « par enclenchement » ou « emboîtement »



– Élimination des vis d'ajustement (butées)



Le système conventionnel demande généralement du temps pour affiner le réglage. Avec un système de cales, on trouve précisément et rapidement la position souhaitée.



8.11 Le Kaizen

Ce mot est en fait l'association de deux mots japonais :

– **kai**, pouvant se traduire par « changement »,

– **zen**, pouvant se traduire par « bon, mieux ».

Kaizen siginifie amélioration graduelle et continue. La démarche japonaise implique tous les acteurs (des directeurs aux salariés) et repose sur des petites améliorations faites jour après jour, mais constamment.

Elle s'oppose donc au concept occidental de réforme brutale du type « on jette et on achète du neuf ».

Ainsi une politique d'amélioration peut suivre deux voies différentes :

– **L'innovation** qui réclame souvent des solutions radicales à forts investissements en technologie et équipement.

– **Le kaizen** qui apporte de petites améliorations graduelles souvent réalisées dans un laps de temps très court par une équipe multidisciplinaire.

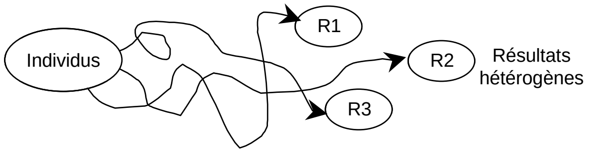
8.11.1 Comparaison du Kaizen et de l'innovation[82]

		Kaizen	Innovation
1	Effets	À long terme, durables mais non spectaculaires	À court terme mais spectaculaires
2	Rythme	À petits pas	À grandes enjambées
3	Effets dans le temps	Continus et croissants	Intermittents et discontinus
4	Changements	Graduels et constants	Abrupts et volatiles
5	Engagement	Tout le monde	Quelques rares « champions »
6	Approche	Collective, efforts de groupe, approche systémique	Individualisme farouche, idées personnelles et efforts individuels
7	Mode	Maintenance et amélioration	On casse et on reconstruit
8	Déclenchement	Savoir conventionnel et tour de main	Percées technologiques, nouvelles inventions, nouvelles théories
9	Exigences pratiques	Exige peu d'investissements mais de gros efforts de maintenance	Exige de gros investissements mais peu de maintenance
10	Orientation	Vers les gens	Vers la technologie
11	Critères d'évaluation	Processus et efforts pour de meilleurs résultats	Résultats en termes de profit
12	Avantages	Fonctionne mieux dans une économie à la croissance lente	Mieux adaptée à une économie à la croissance rapide

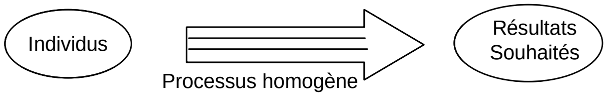
[82] Selon Masaaki Imai, *Kaizen, la clé de la compétitivité japonaise*, Eyrolles, fondateur du « Kaizen Institute » en 1986 au Japon.

8.11.2 Principes

- **Casser les paradigmes** : on entend par paradigmes les idées préconçues qui nous sont dictées par nos habitudes, notre expérience, notre culture, notre entourage… Kaizen invite à analyser les situations sans préjugés, à remettre en cause les évidences pour progresser.
- **Travailler les processus autant que les résultats** : en traditionnel, chacun fait ce qu'il peut individuellement pour obtenir des résultats.

  Avec Kaizen, les individus utilisent le processus pour obtenir des résultats.

- **Évoluer dans un cadre global** : chacun possède des capacités diverses et doit en faire profiter le groupe. Dans l'optique Kaizen, l'efficacité individuelle doit être tournée vers la productivité globale.
- **Ne pas juger ni blâmer** : il existe encore dans certaines entreprises des personnes qui agissent comme des inspecteurs. En cas de dysfonctionnements, elles cherchent un responsable avant de s'interroger sur les causes. Aucun problème ne se règle en s'en prenant aux personnes. Les problèmes sont avant tout une source d'améliorations et doivent être traités positivement.

8.11.3 Concepts

Les quatre principes précédents sont associés à sept concepts :

- **Le cycle PDCA** permet de suivre le déroulement d'une action :
  - *Plan* : planifier (qui fait quoi, pour quand et pourquoi ?).
  - *Do* : faire (mise en ouvre de l'action).
  - *Check* : vérifier (contrôle et analyse des résultats, conclusions).
  - *Act* : choix d'un nouvel objectif...

– **La considération du poste aval comme un client** : le personnel doit comprendre que les clients ne sont pas seulement externes à l'entreprise, mais aussi internes. Il faut donc éviter des dysfonctionnements au niveau des processus suivants et pour cela traiter les problèmes où ils surviennent.
– **La qualité en premier** : la majorité des problèmes de coûts et de délais sont en fait des problèmes de qualité. En l'intégrant dès la conception, la qualité est compatible avec les délais et les coûts.
– **L'orientation marché** : l'entreprise doit bien cerner et comprendre les besoins des clients afin de les traduire en une activité visant à leur satisfaction en termes de qualité, coûts et délais.
– **La gestion des problèmes en amont** : il faut intervenir en amont du processus d'élaboration pour concevoir un produit qui n'engendrera pas de problèmes, évitant ainsi les corrections des défauts lors de la production.
– **L'analyse des données** : en résolution de problème, il faut s'appuyer sur des faits et des données plutôt que sur des intuitions ou des opinions. Une phase de collecte de données est donc nécessaire, ainsi qu'un contrôle de validité de celles-ci.
– **Le contrôle de la variabilité** : afin de remonter à la véritable cause première d'un problème, il ne faut pas s'arrêter à la première cause visible, mais se poser plusieurs fois la question « Pourquoi ? » On limite ainsi le risque de faire apparaître d'autres problèmes liés.

8.11.4 Mise en œuvre

Un chantier Kaizen est un groupe de travail composé d'opérateurs et d'un encadrement, qui se réunit une ou plusieurs journées pour réfléchir sur un thème.

Après une **phase de préparation** (constitution du groupe, préparation du matériel, limites de l'étude…), le chantier commence par une phase **de formation** sur les concepts clés. Suit alors une phase **d'analyse** de l'existant (relevé de temps, vidéo, audit…), puis une phase **de résolution de problèmes**.

À l'issue de cette phase un grand nombre d'actions correctives sont proposées et initiées. Il reste à réaliser un suivi (planifier et réaliser les actions, indicateurs…) et à pérenniser les actions.

Le plus souvent Kaizen s'accompagne d'un système de recueil de suggestions sous la forme de boîte à idées ou d'un tableau dynamique avec des cartes « post-it », par exemple.

8.12 Poka Yoké

Ce mot d'origine japonaise se traduit communément en français par « système anti-erreur » (SAE). Malgré la responsabilisation et l'attention des employés, l'erreur est humaine et le risque zéro n'existe pas.

L'objectif de ce dispositif, parfois nommé détrompeur, est de réduire le risque de défaillances humaines lors de la production en visant le « zéro défaut ».

Suivant les auteurs, l'origine de cet outil varie, mais il est sûr, qu'il fut largement utilisé chez Toyota notamment par Shigeo Shingo. Le Poka Yoké s'utilise couramment comme solution d'amélioration dans le cas de groupe de travail comme le Kaizen, par exemple. En effet, il se conçoit en collaboration avec les opérateurs eux-mêmes.

Ces derniers connaissent très bien la machine à l'origine des problèmes et ont donc la capacité de trouver plus facilement une solution adaptée et acceptée.

« L'astuce » ou l'esprit de « bricolage » (au sens noble du terme) sont des qualités nécessaires pour concevoir des systèmes simples, efficaces et souvent peu onéreux.

Shigeo Shingo distingue trois familles :

- Le **Poka Yoké de contact** empêche physiquement l'opérateur de commettre une erreur. Par exemple, la non symétrie d'une pièce ou d'un usinage peut être volontairement créée au bureau d'études afin de n'autoriser qu'un seul et unique positionnement de la pièce lors de la phase d'assemblage.
- Le **Poka Yoké de signalement**, obtenu par un signal sonore et/ou lumineux, alerte l'opérateur d'une anomalie et bloque le transfert à l'opération suivante tant que celle-ci n'est pas résolue. Par exemple, lors de la réalisation de sachet de quincailleries, un système par comptage et/ou pesée permet de détecter un oubli ou une erreur de référence et empêche le sachet d'être soudé.
- Le **Poka Yoké chronologique** concerne une suite d'opérations obligatoires à réaliser chronologiquement lors de la mise en route d'une machine ou d'une activité de préparation. La « check list » utilisée en aviation, mais également lors de la préparation d'un chantier (pour ne rien oublier) ou lors d'un réglage machine en est un exemple.

Dans la vie courante, un bon nombre de poka yoké existe, par exemple :

- La prise de courant avec fiche de terre.
- Les connections type péritel, USB, port parallèle, port série, port *Fire Wire*, prise française de téléphone, connecteur Ethernet RJ45…

– En milieu hospitalier, les prises de vide et de dioxygène ou de protoxyde d'azote pour éviter les erreurs de branchement…

8.13 Six sigma

C'est **une méthode d'amélioration** de la qualité qui repose sur la maîtrise statistique des procédés (MSP).

C'est aussi **une méthode de management** qui repose sur une organisation très encadrée, dédiée à la conduite de projet. Elle fut mise au point dans les années 80 au sein de la Société Motorola

Elle repose sur trois principes :

– Réduire le nombre de rebuts et atteindre 3,4 défauts par million de pièces fabriquées (PPM).
– Augmenter la satisfaction des clients.
– Améliorer les processus.

La méthodologie du Kaizen, adaptée aux outils « 6 sigma » aboutit au « **sigma kaizen** » qui s'appuie, comme son inspirateur, sur la rapidité de mise en œuvre et le travail en équipe.

Un *Black Belt* (chef de projets) réalise en moyenne avec son équipe 225 000 $ de réduction de coûts par projet mené. Avec un ratio idéal d'un *Black Belt* pour 100 employés, une entreprise peut réduire ses coûts en moyenne de 6 %.

8.13.1 Éléments de méthodologie

– Identifier les produits et/ou services.
– Définir les clients ainsi que leurs besoins et attentes.
– Définir le processus à améliorer.
– Schématiser le processus concerné.
– Définir l'indicateur principal (fonction de l'étude).
– Mesurer les performances du processus.
– Éliminer les sources de défauts et optimiser le processus.
– Mesurer en permanence et contrôler sigma.

Remarque : En dehors des processus de fabrication, six sigma s'applique à tous types de processus de réalisation.

8.14 Hoshin Kanri

- **Hoshin** (mot japonais) suggère le reflet métallique de la boussole, celle-là même qui indique une direction.
- **Kanri** signifie plan ou planning.

Hoshin Kanri fut traduit diversement par « Policy Deployement, Policy Management, Goal Deployement ». Certaines sociétés utilisent seulement le terme « Hoshin ».

8.14.1 Principe

La vision d'une entreprise se décline en objectifs stratégiques définis au plus haut niveau et forme un but à atteindre. Cette vision doit être partagée par tous afin que chacun, à son niveau, contribue à la réalisation de ces objectifs. Les trois points clés du Hoshin sont :

- **L'intégration verticale** : les objectifs sont connus de tous, les efforts individuels convergent vers le même but.
- **La coordination horizontale** : interdisciplinarité, planification et contrôle.
- **L'optimisation des unités** : définition des objectifs en « cascades » jusqu'à la plus petite unité.

Hoshin Kanri permet de traduire des objectifs qualitatifs en objectifs quantitatifs et plans d'actions prioritaires.

8.14.2 Démarche

Chaque responsable propose entre cinq et dix objectifs à son niveau supérieur (niveau peut désigner les liens fonctionnels et non nécessairement hiérarchiques).

Lorsqu'un consensus est obtenu, ces objectifs sont officialisés par écrit (chaque objectif précise la mesure, l'évaluation et le calendrier prévisionnel par étape).

Ces objectifs sont communiqués au niveau supérieur et inférieur. Les résultats sont contrôlés à intervalles régulier (au moins par trimestre) et comparés aux objectifs. Si les progrès diffèrent de la prévision, les problèmes sont identifiés et des actions correctives sont engagées.

Partie III
Les outils d’amélioration

9
Les flux de production

9.1 Introduction

Un flux de production est un déplacement ou un mouvement d'éléments (fluide, articles, pièces…) selon une direction donnée.

C'est un volume de produit par unité de temps qui parcourt toutes les étapes du processus jusqu'au stade final.

Ce flux est généralement composé de phases de transformation, de manutentions, de contrôles, d'attentes et de stockages.

On parle de flux tendus lorsque les aléas et les arrêts de production sont réduits à un minimum acceptable pour le client.

Raymond Biteau introduit deux notions supplémentaires :

– **Le non flux** (ou effet constaté) est un état de stagnation (non déplacement dans l'espace) dans lequel se trouvent des éléments.

– **L'anti-flux** est la cause de ce non flux (panne de machine, non synchronisation entre les postes). À chaque non flux, il s'agira de rechercher les anti-flux.

La représentation des flux

Dans tous les cas, visualiser les flux de production permet la compréhension globale de chaque étape ou chaque phase de transformation, de contrôle, de transfert…

Cette visualisation se réalise généralement au moyen d'un ensemble de schémas ou de données que l'on nomme « cartographie » des flux.

En fonction de la recherche d'informations sur les flux, non flux ou anti-flux, différents modes d'observation sont possibles.

Les trajectoires des flux de production, véritable patrimoine du savoir-faire de l'entreprise, sont visualisées selon différentes représentations appelées **cartographies**.

9.2 Observation des flux et/ou des processus

9.2.1 Pourquoi observer ?

Pour progresser en remettant en cause l'existant.

Les raisons principales d'une observation peuvent être :

– le manque exact de connaissance de ce que l'on fait,
– l'envie de disposer à tout moment d'éléments chiffrés pour éviter une certaine subjectivité dans les analyses ou jugements,
– le désir de fixer des objectifs quantifiables à partir de données actuelles.

Observer ou identifier un flux ou un système, c'est déjà réduire la complexité et choisir un point de vue.

9.2.2 Comment observer ?

Diverses solutions sont possibles, notamment :

– identifier et photographier des faits concrets de dysfonctionnements (postes goulots ou critiques) ou des problèmes de santé, de sécurité ou autres conditions de travail,
– vérifier que les hypothèses de situation de travail sont respectées (tâches non achevées, flux différents…),
– quantifier les anomalies (tâches non prévues, mauvaise synchronisation entre les postes, travail non conforme sur un poste…).

- **Les différents niveaux d'observation**

En fonction du type d'informations recherchées et du point de vue de l'observateur, l'observation peut être :

– **Globale**.

Il s'agit de diagnostiquer une situation d'une manière qualitative. Cette observation permet de donner une idée générale des flux de production et des postes de travail dans un environnement industriel ou de service.

Les outils ou méthodes sont de l'ordre du graphique visuel (analyse de déroulement, film, plan de masse en 2D ou 3D).

– **Locale**.

Après avoir ciblé un poste de travail ou une partie de flux, il s'agit d'approfondir le diagnostic de la situation de travail concernée.

Les données recueillies sont généralement quantitatives, mais aussi qualitatives. Les outils utilisés sont généralement de l'ordre de l'analyse systémique.

Les données sont extraites par des grilles d'audit ou d'évaluation (méthode RAR, diagramme de flux, simogrammes, AMDEC…) ou par échantillonnages.

– **Filière métier**.

L'observation est à la fois globale et locale et concerne une filière métier. Les méthodes et outils sont généralement hybrides (point de vue global et local).

- **Les différents modes d'observation**

– **Directs**.

Il s'agit d'enregistrer immédiatement le déroulement des faits à partir de prise de notes, d'interviews, de chronométrage…. Ce type de prise d'information ne permet pas des « retours en arrière » sur le déroulement des faits et l'exhaustivité des informations recueillies.

– **Différés**.

Il s'agit d'enregistrer la situation étudiée à partir de moyens informatiques, vidéo (code à barres, caméras, camescope) ou papier (enquêtes…) et d'analyser les informations et données recueillies après observation. Cette technique permet des « retours en arrière » mais demande l'adhésion du personnel concerné et une préparation minutieuse.

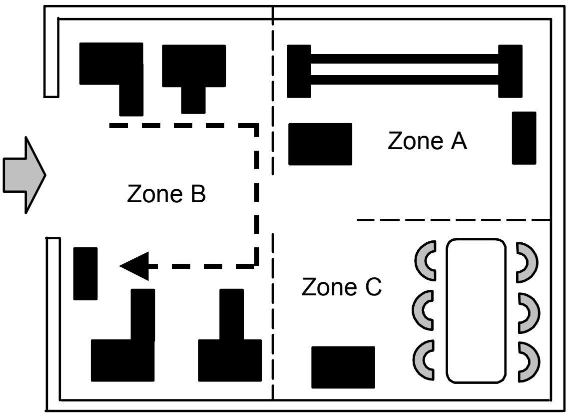
9.3 Représentation en 2 ou 3D

9.3.1 Représentation en 2D (plan de masse)

Les différents éléments sont repérés sur un plan de masse (disposition des machines, flux de production, poste de travail, dimensions…).

La description est topologique : tous les éléments constituant le système étudié sont représentés à l'échelle.

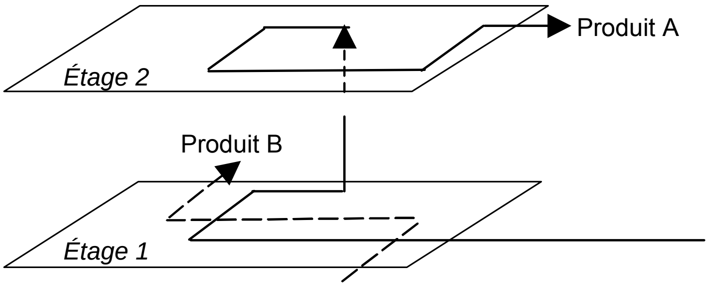
Des logiciels sont généralement utilisés.



9.3.2 Représentation en 3D (spatiale)

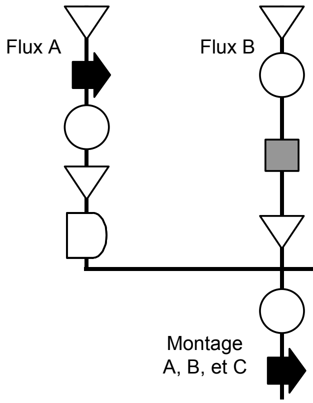
Cette représentation volumique est facilitée par les logiciels actuels 3D. Elle offre ainsi une vision plus proche de la réalité.

Cette solution permet d'intégrer des obstacles aériens qui pourraient être oubliés dans le mode de représentation 2D.



9.4 Représentation BTE et analyse de déroulement

Les flux de production ou les processus se représentent à partir de cinq opérations de base : opération, contrôle, transfert, attente et stockage, selon un formalisme présenté ci-dessous.



Cette représentation peut se compléter par l'analyse de déroulement qui permet de décrire, visualiser et quantifier (durée, quantité, fréquence, distance) chacune des tâches ou activité d'un processus.

La méthodologie se décompose ainsi :

- délimiter l'étude,
- analyser le flux du processus actuel étudié,
- critiquer la solution actuelle,
- proposer une nouvelle solution,
- faire le bilan de la solution proposée.

9.4.1 Symboles utilisés dans l'analyse de déroulement

Désignation de l'étape du processus	Définition	Symbole
Opération	Activité contribuant à un changement d'état des produits	○
Contrôle	Activité permettant d'apprécier le niveau de qualité des produits	□

Transfert	Activité de déplacement des produits d'un poste à un autre	⇨
Attente	Retenue temporaire aléatoire du flux des produits ayant pour origine des contraintes d'organisation ou de ressources	D
Stockage	Retenue programmée du flux des articles produits L'arrêt de la retenue est lié à l'émission d'ordre	▽

Pour chaque symbole, on distingue :

– **L'état stable** pour lequel la modification des matières se retrouve dans le produit livré au client ou est exigée par le cahier des charges (valeur ajoutée vendable). Pour un état stable le symbole est noirci,

– **L'état fugace** qui ne se retrouve pas dans le produit, explicable uniquement par le process (gaspillages, déperditions).

Exemples :

– Un usinage est une opération mais une passe d'ébauche est considérée comme état fugace alors qu'une passe de finition est un état stable,

– Le transfert de matières d'un atelier à un autre est un état fugace alors que la livraison chez un client en juste-à-temps, est un état stable.

Des **symboles systémiques** peuvent également être utilisés :

Frontière	Limite d'isolement du système étudié	— · — ·
Source	Approvisionnement d'un flux	Y
Puits	Destination d'un flux	└- - -┘
Ordre	Prise de décision, régulation, ordre	⧗
Flux	Flux physique Flux d'informations	═ —

9.4.2 Principe de document utilisé

Toutes les opérations de la méthode actuelle sont décrites sur ce type de document et font l'objet d'un récapitulatif chiffré par opération. On procède ensuite à une critique de l'existant et à la recherche d'améliorations.

La méthode proposée est traduite sous un document identique facilitant ainsi la comparaison, et un bilan des gains envisagés est également réalisé.

Date :						**Analyse de déroulement**						Réalisée par :	
Objet : Usinage pieds de lit							Méthode : Actuelle						
Numéro	**Opération**	**Transfert**	**Contrôle**	**Attente**	**Stockage**	**Désignation**	**Opérateur**	**Quantité**	**Temps (min)**	**Fréquence**	**Distance (m)**	**Observations**	**Décision**
	○	⇨	□	D	▽								
1				D		Attente du magasinier et recherche du tire-palette	M	100	20				A
2		⇨				Manutention des pièces avec le tire-palette	M	100	10		10	Pièces corroyées sur palette filmée	
3				D		Attente de la fin du réglage	O	100	15			Remise en état des chaînes d'aménagement (problème d'équerrage)	A
4	●					Usinage des pièces sur la tenonneuse double	O	100	20				A
5			□			Contrôle des quantités	O	95	4			5 rebuts	C
6		⇨				Transfert en zone d'en-cours	O	95	10		2	Recherche de place	A
…						…							

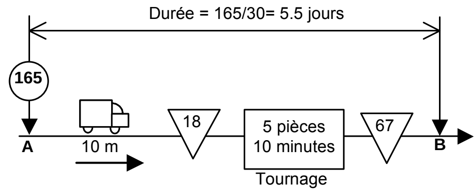
Légende (fonction du contexte de l'étude) **:**

- Opérateur : Manutentionnaire (M), Opérateur machine (O) …
- Décision : Améliorer (A), Combiner (C), Éliminer (E), Permuter (P)…

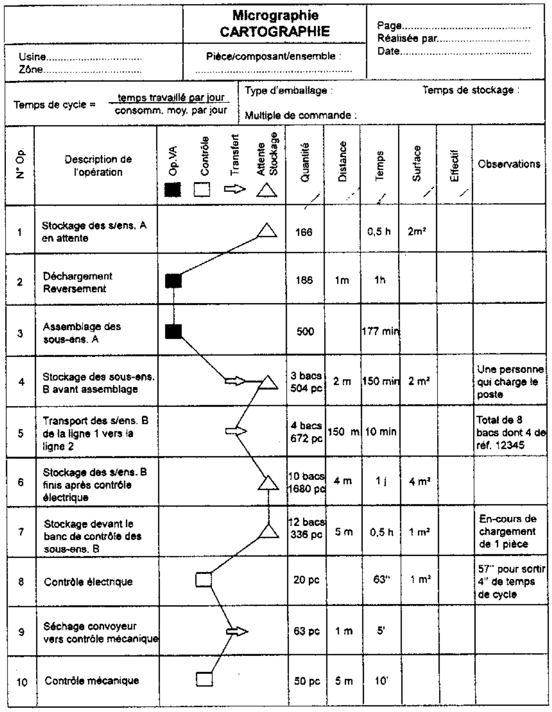
9.5 Cartographie des flux

Raymond Biteau[83] propose une micrographie des processus à partir :

– d'un **formalisme** utilisant différents symboles (transformation, contrôle, manutention, stockage, attente...),
– d'une **cartographie** des processus qui est une liste des activités du processus précisant les durées, les distances et les ressources utilisées, une photo de la situation à un instant donné.



– des **diagrammes de flux** mentionnant les durées, les quantités ou les coûts.



	Micrographie CARTOGRAPHIE	Page............ Réalisée par............ Date............
Usine............ Zône............	Pièce/composant/ensemble :	
Temps de cycle = temps travaillé par jour / consomm. moy. par jour	Type d'emballage : Temps de stockage : Multiple de commande :	

N° Op.	Description de l'opération	Op.VA ■	Contrôle □	Transfert ⇨	Attente Stockage △	Quantité	Distance	Temps	Surface	Effectif	Observations
1	Stockage des s/ens. A en attente				△	166		0,5 h	2m²		
2	Déchargement Reversement	■				186	1m	1h			
3	Assemblage des sous-ens. A	■				500		177 min			
4	Stockage des sous-ens. B avant assemblage			⇨	△	3 bacs 504 pc	2 m	150 min	2 m²		Une personne qui charge le poste
5	Transport des s/ens. B de la ligne 1 vers la ligne 2			⇨		4 bacs 672 pc	150 m	10 min			Total de 8 bacs dont 4 de réf. 12345
6	Stockage des s/ens. B finis après contrôle électrique				△	10 bacs 1680 pc	4 m	1 j	4 m²		
7	Stockage devant le banc de contrôle des sous-ens. B				△	12 bacs 336 pc	5 m	0,5 h	1 m²		En-cours de chargement de 1 pièce
8	Contrôle électrique		□			20 pc		63"	1 m²		57" pour sortir 4" de temps de cycle
9	Séchage convoyeur vers contrôle mécanique			⇨		63 pc	1 m	5'			
10	Contrôle mécanique		□			50 pc	5 m	10'			

83 Se reporter à son ouvrage *Maîtriser les flux industriels : les outils d'analyse*, Éditions d'Organisation.

9.6 Représentation sous forme hiérarchique descendante

Le système est décomposé par niveau hiérarchique, du global (A0) au détail (A1, …, A111...) selon un formalisme existant.

Chaque activité[84] (boîte) est décrite par ses flux (physiques et d'informations), ses moyens utilisés et ses contraintes éventuelles.

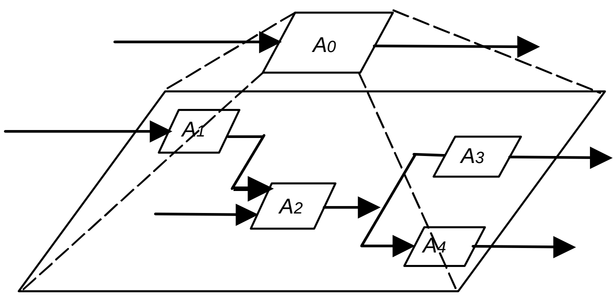
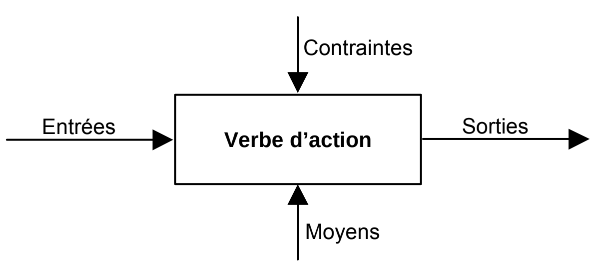


Figure 9.1 Exemple de représentation

Rappel du formalisme SADT

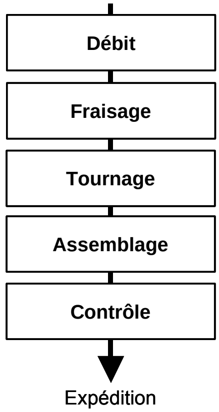


9.7 Représentation par chronologie des phases

Les flux sont représentés en une suite successive de phases ou de tâches dont la durée peut être mentionnée.

---

84. La méthode SADT (*Structured Analysis and Design Technique*) propose une démarche hiérarchique complète de décomposition des systèmes.

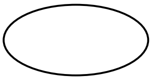


Exemple de représentation d'une ligne de fabrication

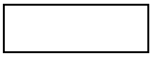
9.8 Représentation sous forme d'ordinogramme

L'ordinogramme est un outil d'analyse qui permet de représenter sous forme graphique l'enchaînement logique et chronologique des opérations à effectuer pour réaliser un travail. À chaque phase du processus de l'ordinogramme, on pose les conditions à respecter et on engage les actions à venir. L'outil utilise des symboles normalisés reliés entre eux par des flèches, ce qui permet d'être clair et synthétique et de mettre en évidence les incohérences.

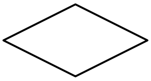
Trois symboles sont couramment utilisés :



L'ovale représente le point de départ ou d'arrivée de l'ordinogramme.

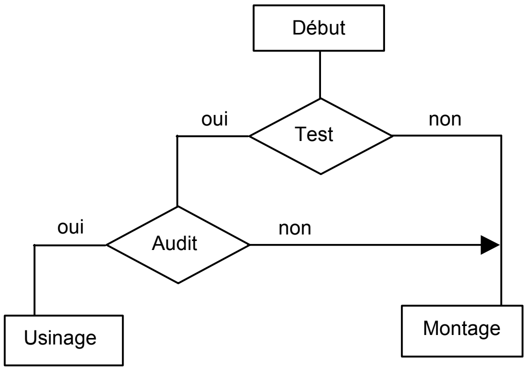


Le rectangle représente une opération du processus, dont le contenu est résumé par une courte phrase dans laquelle il faut utiliser des verbes d'action.



Le losange représente un choix, donc une décision qui aboutit à des opérations différentes selon la réponse à la question inscrite dans le losange.

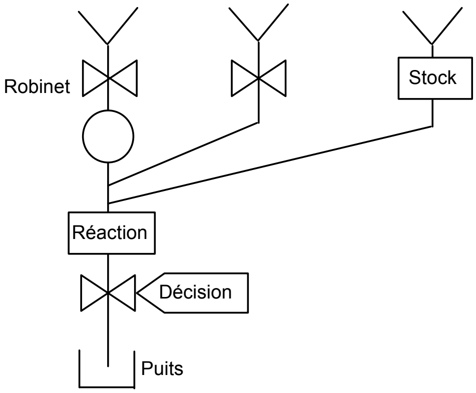
Chaque ordinogramme doit suivre une structure qui peut être consécutive (à la suite), alternative (deux ou plusieurs « chemins ») ou itérative (boucle). Généralement l'ordinogramme n'excède pas deux pages, sinon le processus doit être décomposer en plusieurs sous-processus. Les deux « chemins » d'une alternative doivent être symétriques et se rejoindre.



Exemple d'ordinogramme

9.9 Représentation par schéma fonctionnel

On décrit les processus de fabrication en prenant en compte les flux de décision, d'information et les flux physiques selon un formalisme issu de l'analyse systémique[85]. Grâce à cette démarche de représentation des flux, des outils adaptables de simulation, d'aide à la décision ou de planification sont élaborés. Ce formalisme est surtout utilisé pour la représentation des flux de type procédé ou de type « flow shop ».

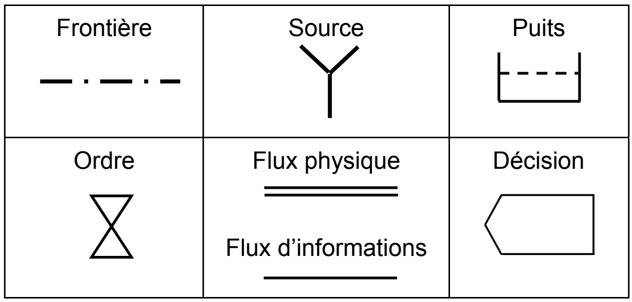


Exemple de schéma fonctionnel

---

85 Se reporter au livre de J. Bernad, *Approche systémique de l'entreprise et de son information*, Masson.

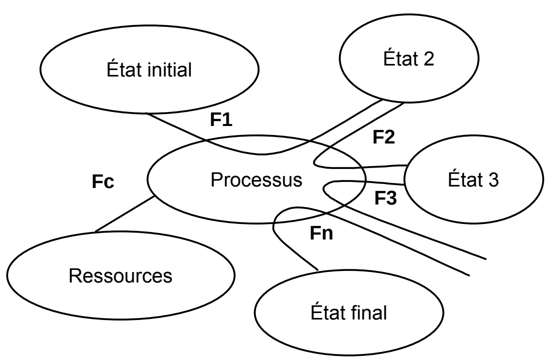
Des symboles sont utilisés :



9.10 Description par analyse fonctionnelle[86]

L’analyse fonctionnelle, traditionnellement orientée « produit » s’utilise aussi pour les processus. Dans ce cas, Il s’agit d’exprimer le but d’un processus en terme d’états et non d’opérations. Les états correspondent à l’obtention de caractéristiques non présentes à l’état initial mais figurant à l’état final.

Des fonctions de changements d’états (F1, F2, …, Fn), sont ainsi définies.



(d’après modèle APTE)

La définition précise de l’état initial et de l’état final (frontière de l’étude) est fondamentale dans cet outil.

[86] Principale source bibliographique : article de Christian Teixido et Marc Polizzi paru dans un numéro « spécial analyse de la valeur » de la revue Technologie du CNDP (n°74 mars 1995).

La démarche d'analyse fonctionnelle pour un processus peut se décomposer ainsi :

– Valider le besoin

  Comprendre l'objet de l'étude, autrement dit le besoin à remplir par le processus. Le contrôle de validité permet de vérifier qu'il ne s'agit pas d'un faux problème :

  – Pourquoi le besoin existe ?

  – Quels seraient les causes et les risques de sa disparition ou de son évolution ?

– Identifier les fonctions principales et les caractériser

  – L'identification des fonctions principales du processus (fonctions de changement d'état) permet d'énoncer le service à rendre pour transformer le produit de l'état initial à l'état final. Ces fonctions représentent le « juste nécessaire » (sans gaspillage) et peuvent être définies par l'outil « graphe d'interaction », appelé aussi « pieuvre » (vu précédemment).

  – La caractérisation consiste à définir pour chacune des fonctions les critères, les niveaux et la flexibilité.

– Recenser et valider les éventuelles contraintes liées aux ressources humaines et/ou matérielles (fonction contrainte, Fc).

– Effectuer un contrôle de validité des fonctions principales du processus.

Fcts	**But ?**	**Raison ?**	**Disparition ?**	**Évolution ?**	**Validation**
F1					Oui
F2					Oui
…	…	…	…	…	

– Exprimer le besoin

  La rédaction d'un cahier des charges fonctionnel (CDCF) permet de conclure cette démarche et de définir le processus hors gaspillage.

  Dans le cas le plus fréquent d'un processus existant, il s'agit de comparer les performances de ce dernier au « juste nécessaire » défini dans le CDCF.

L'analyse de déroulement[87] permet de définir les états stables (correspondant aux fonctions principales) et les états fugaces du processus actuel. Elle facilite ainsi le travail de comparaison au CDCF et à l'analyse qui en découlera (analyse de la valeur processus)[88].

N°	Désignation des états	S	F
E.I		x	
1			x
…	…	…	…
E.F		x	

9.11 AMDEC[89] (processus)

L'analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité est une méthode d'analyse visant la sûreté de fonctionnement du (des) système(s) étudié(s).

Elle se pratique dans le cadre d'un groupe de travail aux compétences pluridisciplinaires en conception (préventif) ou en amélioration (correctif).

Il existe trois types d'AMDEC :

– L'**AMDEC Produit** visant à assurer la fiabilité d'un produit en améliorant la conception de celui-ci.
– L'**AMDEC Processus** visant à assurer la qualité d'un produit en améliorant les opérations de production de celui-ci.
– L'**AMDEC Moyen** visant à assurer la disponibilité et la sécurité d'un moyen de production en améliorant la conception, l'exploitation ou la maintenance de celui-ci.

87 *Cf.* Paragraphe 9.4.

88 *Cf.* Paragraphe 10.5.

89 La norme NF X 60-510 présente l'AMDEC (procédure, terminologie, principes de base et exemples de tableaux types).

9.11.1 Méthodologie AMDEC

- Collecter les données (avant le démarrage de l'analyse), afin que le groupe dispose de toutes les informations utiles à l'étude :
  - Objectifs, limites de l'étude, contraintes.
  - Expression du besoin client (issu le plus souvent de l'analyse fonctionnelle).
  - Enquêtes client, relevés statistiques d'exploitation, historiques (défaillances, pannes…).
- Recenser les modes de défaillance[90] plausibles et potentiels de l'entité étudiée (la défaillance pourrait avoir lieu mais ne survient pas nécessairement). Dans le cadre d'une AMDEC Processus le groupe passe en revue toutes les opérations composant le processus afin d'en évaluer les modes de défaillances potentiels.
- Décrire l'effet (pour le client) pour chacun des modes de défaillance recensés.
- Rechercher toutes les causes possibles de chaque mode de défaillance.
- Évaluer la criticité. On utilise en général trois critères[91] :
  - « **G** » : gravité de l'effet pour le client.
  - « **F** » : fréquence d'apparition (parfois appelé occurrence), correspondant à la probabilité que la cause se produise et provoque le mode de défaillance correspondant.
  - « **D** » : risque de non-détection, correspondant à la probabilité que la défaillance atteigne l'utilisateur dans le cas où la cause et le mode de défaillance sont apparus.

  Le coefficient de criticité[92] se définit par :

$$\mathbf{C = G \times F \times D}$$

---

[90] Le mode de défaillance est le caractère perceptible ou observable de la défaillance : le symptôme.

[91] Selon les industries, des variantes existent au niveau de la terminologie utilisée, mais le principe général demeure.

[92] Ce coefficient est parfois appelé indice de priorité des risques (IPR).

Plus l'indice est grand, plus le risqué lié aux défaillances potentielles est élevé. Le groupe peut ainsi hiérarchiser les défaillances et décider de ne traiter en actions correctives que les criticités supérieures à une valeur définie (propre à l'entreprise et à la grille de cotation retenue[93]).

– Rechercher des actions correctives : le groupe de travail recherche des solutions d'amélioration. Souvent, pour gagner en rapidité, des tâches sont menées en dehors des réunions AMDEC par différents responsables.
– Évaluer à nouveau la criticité après la proposition des actions correctives.
– Planifier et mettre en œuvre les actions décidées.
– Vérifier l'efficacité des actions. Celles qui confirment les résultats attendus sont validées, pour les autres le groupe en cherche de nouvelles.

9.11.2 Exemples de grilles de cotation (AMDEC processus ou produit)

Chaque entreprise construit ses grilles spécifiques de cotation.

Indice de gravite « G »		
	Critères	
G	Défaillance	Perception du client
1	Mineure	Sans conséquence
…	…	…
8	Avec signe avant coureur	Grand mécontentement et/ou frais de réparation
9	Sans signe, panne	
10	Sans signe avant coureur	Problème de sécurité

Fréquence « F **»**	
F	Probabilité d'apparition
1	[0 à 3/100 000[
2	[3/100 000 à 10/10 000[
…	…
8	[3/100 à 1/10[
9	[1/10 à 3/10[
10	[3/10 à 1]

93 Voir l'exemple de grilles de cotation au paragraphe 9.11.2.

Non-détection « D »	
D	Probabilité d'atteindre l'utilisateur
1	[0% à 2%[
2	[2% à 12%[
…	…
8	[62% à 72%[
9	[72% à 82%[
10	[82% à 100%]

9.11.3 Principe de tableau (AMDEC processus ou produit)

Cartouche (logo entreprise, date, type d'AMDEC, processus, responsable groupe, page…),	
Partie du tableau consacré au processus existant (détail ci-dessous)	Partie du tableau consacré aux actions correctives (détail ci-dessous)

N°	Fonction	Défaillance			Détection (moyens)	Criticité actuelle			C
		Mode	Effet	Cause		G	F	D	

Actions correctives			Nouvelle Criticité			C
Modification	Responsable	Délai	G	F	D	

9.12 Analyse de gaspillage

Shigeo Shingo, initiateur du « Toyota Production System » recense et décrit sept formes de gaspillage.

Le gaspillage peut être défini comme étant « toute opération sans valeur ajoutée sur le produit ».

Différentes méthodes cherchent à chiffrer ce gaspillage, à titre d'exemple :

– Le diagnostic VAB (valeur ajoutée brute) du BTE[94].
– L'analyse de déperdition.
– le « rouge/vert »…

Quels que soient le nom de l'outil méthodologique et l'organisme qui le propose, l'idée consiste à identifier et quantifier les gaspillages afin de les réduire ou de les éliminer. Ce type d'analyse s'inscrit dans la philosophie « Juste-à-Temps ».

9.12.1 Valeur ajoutée « utile »

La valeur ajoutée « utile» concerne exclusivement les opérations qui transforment physiquement le produit.

Dans la plupart des entreprises (qui ne travaillent pas en flux continu), la valeur ajoutée utile est d'environ 30 %. Les opérations restantes (environ 70 %) représentent donc de la valeur ajoutée « inutile », autrement dit des gaspillages.

Deux catégories apparaissent :

– Les **gaspillages injustifiés** (représentés en noir sur les graphiques), souvent réalisés par habitude, sont à éliminer.
– Les **gaspillages liés aux contraintes** du système de production (représentés en gris sur les graphiques), sont à minimiser par une remise en cause du système et par des améliorations.

9.12.2 Mise en œuvre[95]

L'identification et la quantification des gaspillages nécessitent une observation continue durant une période de production du système étudié.

Le plus souvent, il s'agit de poste de travail, mais peut aussi concerner un atelier ou un service. Dans tous les cas, l'observation ne doit pas se dérouler à l'insu de l'exécutant et doit être préparée.

---

94 BTE : Bureau des temps élémentaires.

95 Illustration de la méthodologie à partir d'extraits d'études menées par les sections de BTS Productique bois et ameublement du Lycée André Malraux de Remiremont.

Quatre points sont à considérer lors d'une étude :

– Observation sur site.
– Analyse hors cycles : niveau « macro ».
– Analyse des cycles : niveau « micro ».
– Synthèse et propositions.

- **Observation sur site**

– Communiquer avec l'exécutant (objectif de l'étude, déroulement, écoute des remarques et suggestions, demande d'explications…).
– Relever les informations concernant le poste (schématisation de l'implantation et des flux, moyens à disposition, contraintes techniques, typologie de pièces réalisées…).
– Observer en continu le poste et noter chronologiquement les événements qui surviennent sur une fiche de relevé appropriée.

h	m	s	Durée	Famille	Nat	Désignation	EP
13	40	0				Cherche une palette	A
	41	10				Préparation du poste	A
	42	30				Information sur le travail à réaliser	A
	43	35				Prise de connaissance des plans	A
	45	35				Réglage machine	R
	46	15				Information avec le chef d'atelier	A
	48	23				Poursuite du réglage	R
	49	29				Approvisionnement du poste	A
	50	30				Travail (usinage cycle type A)	U
14	3	50				Information sur bordereau	A
	5	7				Travail (usinage cycle type A)	U
	16	45				Cherche pièce (erreur de longueur)	A
	17	25				Information avec poste débit	A
…	…	…				…	…

Remarques sur la feuille de relevé ci-dessus :

– Les colonnes « Durée, Famille, Nat » sont remplies lors du dépouillement et non sur site.
– Dans le cas présenté, les événements décrits dans la colonne désignation concerne l'opérateur. Le début de l'action est noté dans les colonnes « h, m, s » par simple lecture sur une montre à affichage digital.
– La colonne « EP » permet de préciser l'état du poste si l'on veut dresser, en parallèle à l'activité de l'opérateur, un constat du point de vue de la machine. Dans cet exemple, on utilise la lettre A pour « attente », R pour « réglage », U pour « usinage ».

– En parallèle au relevé chronologique des événements, détailler sur feuille annexe quelques cycles de travail qui serviront à l'étude au niveau micro.

Cycle de travail type A (temps en secondes)											
1	Eléments du cycle	Cy1	Cy2	Cy3	Cy4	Cy5	Cy6	Cy7	…	**Moy**	**%**
2	Prise de 2 pièces sur palette entrée et dépose sur table de préparation	5	5	6	5	10	8	9		**6,9**	**3,2**
3	Prise connaissance plan	11	27	26	16	13	16	6		**16,4**	**7,6**
4	Etablissement et traçage des 2 pièces	56	64	61	77	89	59	61		**66,7**	**31**
5	Réglage angle du guide	43	28	21	33	32	43	51		**35,9**	**17**
6	Mise en position pièce1	4	5	3	6	3	4	3		**4**	**1,9**
7	Usinage 1er about pièce 1	10	8	10	15	10	17	6		**10,9**	**5,1**
8	retournement et mise en position pièce1de la pièce 1	6	9	7	6	8	6	9		**7,3**	**3,4**
9	Usinage 2ème about pièce 1	11	9	13	12	11	9	8		**10,4**	**4,9**
10	Dépose pièce 1 sur table de préparation et prise pièce 2	4	3	5	3	4	5	5		**4,1**	**1,9**
11	Mise en position pièce2	3	6	4	5	3	4	4		**4,1**	**1,9**
12	Usinage 1er about pièce 2	15	16	12	13	11	10	13		**12,9**	**6**
13	retournement et mise en position pièce1de la pièce 2	7	9	6	8	9	10	9		**8,3**	**3,9**
14	Usinage 2ème about pièce 2	13	14	17	11	9	8	14		**12,3**	**5,7**
15	Evacuation des 2 pièces sur palette sortie et retour vers palette entrée	10	13	15	17	12	14	19		**14,3**	**6,7**
	Totaux	198	216	206	227	224	213	217		**214,5**	**100**

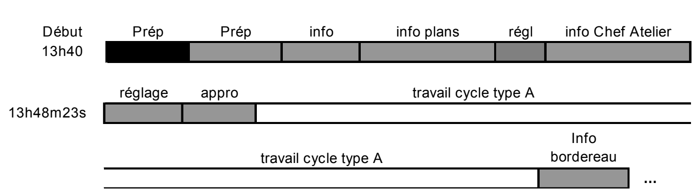
Note : les colonnes « Moy» et « % » sont à calculer hors site, lors du dépouillement.

- **Analyse hors cycle : niveau « macro »**

– Dépouiller les données relevées, c'est-à-dire calculer les durées, créer des familles et classer par nature, par exemple : gaspillages injustifiés en noir (N), liés aux contraintes en gris (G), opération à valeur ajoutée en blanc (B).

h	m	s	Durée	Famille	Nat	Désignation	EP
13	40	0	70	prép	N	Cherche une palette	A
	41	10	80	prép	G	Préparation du poste	A
	42	30	65	info	G	Information sur le travail à réaliser	A
	43	35	120	info	G	Prise de connaissance des plans	A
	45	35	40	régl	G	Réglage machine	R

– Traduire éventuellement les événements hors cycle relevés sous la forme d'un graphique avec une échelle de temps (film ou simogramme).



– Dresser un récapitulatif par famille et par nature, éventuellement illustrer par un graphique (histogramme, secteurs…).

Familles	Nature	Durée (sec)	%
Non-qualité	N	826	6,6
Préparation	N	213	1,7
Information	G	1481	11,8
Approvisionnement	G	732	5,9
Préparation	G	308	2,5
Réglage	G	216	1,7
Travail	B	8724	69,8
		12500	100

- **Analyse du (ou des) cycle(s) de travail : niveau « micro »**

– À partir des données relevées, calculer les moyennes et les pourcentages par éléments du cycle, le cycle moyen (égal à 214,5 secondes dans l'exemple précédent).

– Regrouper certains éléments du cycle par famille (à créer) et classer par nature.

Familles	Nature	Durée (sec)	%
Etablissement, traçage	Gc	66,7	31,1
Réglage angle guide	Gc	35,9	16,7
Manutention	Gc	25,3	11,8
Mise en position	Gc	23,7	11
Prise connaissance plan	Gc	16,4	7,7
Travail	B	46,5	21,7
		214,5	100

– Visualiser éventuellement les résultats par un graphique, par exemple un histogramme.

- **Synthèse et propositions**

– Fusionner l'étude « macro et micro »

	Familles	Nature	Durée (sec)	%
Gaspillages Hors cycle	Non-qualité	N	826	6,6
	Préparation	N	213	1,7
	Information	G	1481	11,8
	Approvisionnement	G	732	5,9
	Préparation	G	308	2,5
	Réglage	G	216	1,7
Gaspillages dans le cycle	Etablissement, traçage	Gc	2713,2	21,7
	Réglage angle guide	Gc	1456,9	11,7
	Manutention	Gc	1029,4	8,2
	Mise en position	Gc	959,6	7,7
	Prise connaissance plan	Gc	671,8	5,4
	Travail net	B	1893,1	15,1
			12500	100

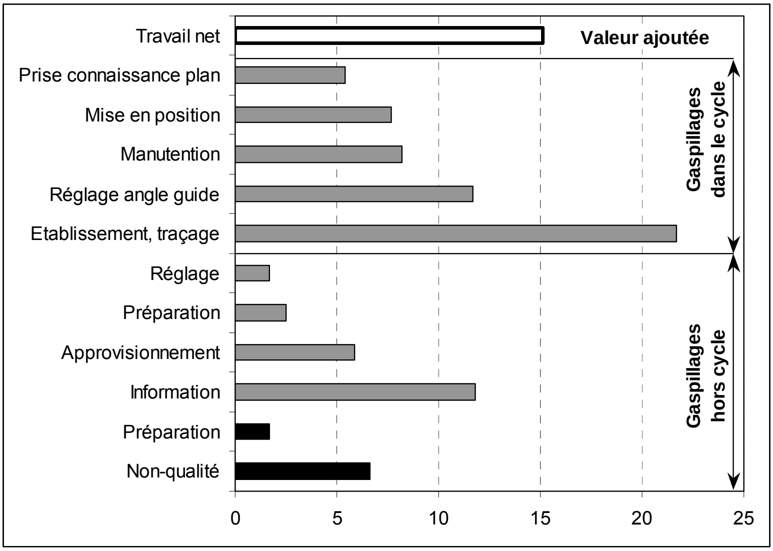
Principe :

Le travail au niveau macro est multiplié par le pourcentage de la famille au niveau micro.

Exemple de calcul pour la manutention :

8724 x 11.8 % = 1029,4 secondes.

– Visualiser les résultats par un graphique.



– Analyser les causes et rechercher des solutions d'amélioration pour supprimer les gaspillages (classés en noir) ou les réduire (classés en gris), évaluer les gains.

9.13 Observations instantanées

La méthode des observations instantanées[96] (présentée par l'Anglais Tipett en 1934 dans l'industrie textile) permet d'étudier des éléments d'un système selon une précision désirée, en s'appuyant sur l'échantillonnage statistique. Le principe consiste à réaliser une série d'observations discontinues et instantanées.

96 Inspiré du BTE (Bureau des temps élémentaires), Paris.

Cette méthode nécessite moins de temps de présence d'un agent de méthodes que pour une observation continue (type analyse de déperditions ou analyse de déroulement). La distribution en pourcentage, donnée par un échantillonnage effectué au hasard, tend à devenir identique à la distribution réelle que l'on obtiendrait par une observation continue. L'observation se faisant au « clin d'œil » (instantanée), il faut définir les éléments à observer et leurs états.

Malgré son ancienneté et bien que destinée initialement au relevé de temps, cette méthode peut être utile dans le cadre de la réduction des gaspillages. En effet, sans engager un gros investissement en temps d'observation, elle permet de caractériser assez rapidement le fonctionnement de plusieurs moyens de production en identifiant et en quantifiant les « états » qui n'apportent pas de valeur ajoutée. Dans ce cadre, on recherche plus un ordre de grandeur qu'une précision sur les résultats. En fonction de ceux-ci, on peut enclencher des actions d'amélioration ou recourir à des outils spécifiques comme le SMED, par exemple, si les temps de réglage apparaissent comme très importants. Cet outil permet de valider ou non des « impressions » comme : « ce poste fonctionne mal, il est surchargé et il faudrait investir… ».

L'étude est réalisée avec un seuil de confiance de 95% (c'est-à-dire 95% de chance que les lois du hasard ne soient pas contre nous).

Remarque : Toute étude doit être précédée d'une préparation psychologique du personnel observé. L'adhésion de celui-ci est indispensable pour valider les résultats obtenus.

Autres noms de la méthode :

- Méthode des observations discontinues.
- Méthode des observations par sondage.
- *Ratio Delay*.

Exemples d'application :

- Définir rapidement un historique concernant les anomalies d'un atelier.
- Définir le pourcentage d'activité matériel et humain.

9.13.1 Méthodologie

- **Définir les éléments à observer**

- Le pourcentage d'activité « P » (par estimation, par historique…).
- Le pourcentage de précision désirée « y» (à l'aide d'un abaque ou par le calcul).

$$y = 2\sqrt{\frac{1 - P}{n\,P}}$$

Avec :

y = précision du résultat.

P = pourcentage d'activité.

n = nombre d'observations.

Note : au début de l'étude, Y est défini arbitrairement.

– Le nombre d'observations « n », (à l'aide d'un abaque ou par le calcul) :

$$n = \frac{4\,(1 - P)}{y^2 P}$$

– La période d'observation : semaine, mois, trimestre...

– Les états à observer : suivant l'étude (*cf.* § 9.13.2, étude de cas).

- **Préparer l'étude**

– Établir le circuit d'observations.

– Définir le nombre d'observations en fonction de P et y retenus, le nombre de passages par journée de travail, les dates de départ de chaque passage (utiliser les tables d'heures d'observation au hasard).

– Procéder impérativement à un tirage au hasard afin de respecter le caractère aléatoire de l'observation et éviter ainsi les événements fréquentiels.

– Préparer les différents tableaux de relevés et de dépouillement avec les états à observer.

- **Réaliser l'étude**

- **Analyser les résultats**

- **Rédiger le rapport**

9.13.2 Étude de cas

Le cas proposé concerne une entreprise fabriquant du mobilier de moyenne gamme. En vue d'une étude d'amélioration, le service Méthodes a mené une campagne d'observations instantanées sur une plaqueuse de chants (poste de travail).

- **Définir les éléments à observer :**

– Estimer (approximativement) le pourcentage d'activité « P » de la plaqueuse : environ 75 %.

– Déterminer une précision souhaitée : 5 à 10 %.

– Déterminer le nombre d'observations : soit n = 133 (si y = 10 %) ou n = 533 (si y = 5 %).

– Déterminer la période la plus représentative, sachant que le personnel travaille du lundi au vendredi de 8 h à 12 h et de 13 h 30 à 16 h 30 : la période d'étude retenue sera de deux semaines (10 jours ouvrés).

– Définir les états à observer :

T	A	D	M	R
Travail	Arrêt (non travail)	Arrêt (cause défaut)	Manutention, approvisionnement	Réglage

Remarque : Si le principe de la méthode correspond à « un coup d'œil rapide » (photographie), l'interprétation doit être immédiate. Il faut donc faire très attention à ne pas associer trop d'états à contrôler.

- **Préparer l'étude**

– Établir le circuit : on définit que l'espace temps minimum entre deux départs est de 8 minutes.

– Déterminer le nombre d'observations : une semaine est trop courte pour 500 observations (il faudrait réaliser 500/10 = 50 observations par jour). Il semble raisonnable d'effectuer 20 observations par jour, soit 20 x 10 = 200 pour la période retenue de deux semaines. La précision « y » serait d'environ 8 % (compte-tenu du pourcentage estimé de 75 %), ce qui demeure acceptable par rapport à l'étude.

– Définir les dates de départ choisies au hasard (table d'heures ou de nombres au hasard) :

16,20	11,26	9,03	10,26	14,09
10,42	15,37	8,49	11,37	9,45
14,04	10,12	14,43	8,26	16,08
13,42	9,19	8,38	9,58	15,56

Remarque : Effectuer un tirage de dates au hasard différent pour chaque journée afin d'éviter un phénomène fréquentiel qui fausserait les résultats de l'étude (conserver le caractère aléatoire des observations).

– Établir le tableau des relevés journaliers.

	T	A	D	M	R
8,26					
8,38					
9,45					
…					

– Établir le tableau des dépouillements quotidiens.

Date	T	A	D	M	R
01/xx/yy					
02/xx/yy					
…					

- **Réaliser l'étude**

On obtient les résultats suivants :

États observés	T	A	D	M	R
Fréquence/état	58	32	44	18	48
n	200				
P %	29	16	22	9	24
y %	22,1	32,5	26,5	45	25,2

- **Analyser les résultats**

– L'activité globale du poste de travail est de : 29 + 22 + 9 + 24 = 84 % (états « T, D, M, R »), ce qui est supérieur à l'estimation de 75 %.

– La précision globale de l'étude est de 6,2 % (compatible avec les objectifs de départ).

– Le travail net (hors gaspillages) ne représente que 29 % (état « T »).

La durée journalière de cet état est de 7 h x 29 % ≈ 2 h avec :

– une limite inférieure de 2 h x (1 – 0,221) ≈ 1,56 h, et

– une limite supérieure de 2 h x (1 + 0,221) ≈ 2,44 h.

– Avec le même raisonnement que précédemment, les gaspillages (ou déperditions) représentent (en heures) :

États observés	A	D	M	R
Durée journalière	1,12	1,54	0,63	1,68
Limite inférieure	0,756	1,132	0,347	1,257
Limite supérieure	1,484	1,948	0,914	2,103

- **Rédiger le rapport**

Il ressort de cette étude que la productivité de la plaqueuse de chant pourrait être considérablement améliorée en engageant prioritairement des actions sur les gaspillages les plus importants : le réglage (action SMED) et les arrêts causes défauts. Ces deux états représentent 3,2 h par jour (jusqu'à environ 4 h en valeurs supérieures).

10
Le poste de travail

10.1 Terminologie

- **Activité**

Pour réaliser une ou plusieurs tâches, l'opérateur organise son travail, le planifie, se déplace, fait des mouvements, raisonne… Il a une activité qui met en jeu ses capacités physiologiques et mentales.

Cette activité est centrée sur l'homme, sur les moyens et les conditions d'exécution des tâches.

- **Tâche de travail**

C'est un objectif ou un résultat à atteindre dans des conditions données (temps, espace, consignes, notes opératoires, recommandations, procédures…) à partir de moyens matériels (outillage, machine…).

- **Centre de production**

Le centre de production comprend tout ce qui est nécessaire (matériel, outillage…) à l'exécution d'un travail nettement défini. Il est caractérisé par une capacité.

- **Poste de travail ou de charge**

Centre d'activités comprenant tout ce qui est nécessaire (matériel, outillage…) à l'exécution d'un travail nettement défini ou prescrit. Il est caractérisé par une capacité.

- **Ergonomie**

Selon le Petit Larousse, l'ergonomie concerne l'ensemble des études et des recherches sur l'organisation méthodique du travail et l'aménagement de l'équipement en fonction des possibilités de l'homme et des objectifs à respecter.

L'analyse ergonomique d'un poste de travail comprend l'analyse globale de l'entreprise et de l'activité réelle de travail, l'identification et l'analyse systémique du travail et enfin de la formulation des problèmes ergonomiques à traiter.

- **Processus**

Enchaînement des activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie (NF EN ISO 9000:2005).

- **Procédé**

Mode d'exécution adapté à un résultat recherché (état initial, état final) correspondant à une technique de réalisation.

- **Système**

Selon Joël de Rosnay, un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé en fonction d'un but ou d'un objectif, en utilisant des ressources matérielles et immatérielles.

10.2 Démarche d'amélioration des postes de travail

Améliorer les postes de travail suppose disposer d'une démarche intégrant les flux de production au niveau global et les postes clés au niveau local.

Étapes	Objectifs	Actions
1. Observer globalement les flux et/ou les processus de production actuels	Représentation descriptive et analyse des flux et des postes de travail à améliorer	Limites de l'étude des flux Volonté de la direction Gestion de projet

2. Étudier le poste de travail	Sélection du ou des postes à améliorer (rebuts, qualité, productivité, sécurité…)	Description du poste à améliorer Connaissance du produit, des méthodes et des opérateurs
3. Évaluer le poste de travail : - mesure et évaluation des temps, - collecte d'information	Choix et recueil des données et des informations nécessaires à l'étude d'amélioration	Préparation des grilles d'analyse, d'audit, d'observation et d'enquêtes…
4. Réaliser le projet d'amélioration	Recherche de solutions (coût, délais, performances)	Proposition de solutions Travail de groupe Point à améliorer
5. Évaluer les solutions	Retenir les solutions les plus efficaces, les plus adaptées à l'objectif initial	Étude de faisabilité : objectif, coût, délais, qualité et risques
6. Mettre en œuvre les solutions et les pérenniser	Vérification que le travail prévu est bien réalisé Mesure des performances	Suivi des actions et du tableau de bord Clôture du projet

Cette démarche[97] se déroule dans le cadre d'un management et d'une gestion de projet[98] par un chef de projet et son équipe projet.

Note : Pour réaliser l'étape 1 (observation globale des flux), se reporter au chapitre 9.

10.3 Étude du poste de travail

10.3.1 Choix du ou des postes critiques

Après avoir observé le système, il convient d'en dégager les faiblesses et de définir les actions prioritaires à engager. Le **diagramme de Pareto**[99] (aussi appelé courbe ABC) est un bon outil de visualisation et facilite le choix des priorités d'actions.

---

97 L'APICS propose six étapes d'amélioration continue du processus : sélection du flux ou processus à étudier, analyse, enregistrement de toutes les données, évaluation des solutions alternatives pour ne retenir que la meilleure, mise en place de la solution et maintien dans la durée.

98. Se reporter au chapitre 4.

99 Méthodologie développée au paragraphe 8.2 .

10.3.2 Observation détaillée du poste

Les outils et méthodes comme les observations instantanées (*cf.* § 9.13), l'analyse de déroulement (*cf.* § 9.4), l'analyse de gaspillage (*cf.* § 9.12), le pendulage (*cf.* § 10.4.2), le chronométrage (*cf.* § 10.4.2), ainsi que des enregistrements automatiques sont couramment utilisés.

La vidéo est également un moyen efficace pour cette phase d'étude. Elle est par exemple couramment utilisée lors d'étude de réduction de temps de réglage (SMED[100]).

Elle présente de nombreux avantages :

– elle permet de revoir autant de fois que nécessaire le poste de travail,

– elle facilite l'étude de mouvements de courte durée ou d'opérations simultanées difficilement observables à l'œil nu,

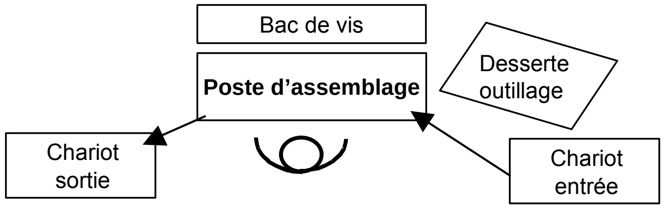
– elle offre un bon support de discussion à un groupe de travail chargé d'améliorer le poste.

Le matériel actuel est simple d'utilisation et largement accessible sans formation particulière. Pour être efficace, l'utilisation de la vidéo ne doit pas servir à « montrer du doigt » des salariés, mais aider à la remise en question des habitudes par la recherche de solutions d'amélioration au sein d'un groupe de travail impartial et respectueux de l'individu.

10.3.3 Représentations graphiques usuelles

- **Plan de situation**

À l'issue de l'observation, une schématisation est réalisée (3D ou 2D), généralement à l'échelle comprenant la disposition des différents éléments du poste.



[100] SMED : *Single Minute Exchange Die*, méthodologie décrite au § 8.10.

- **Simogramme**

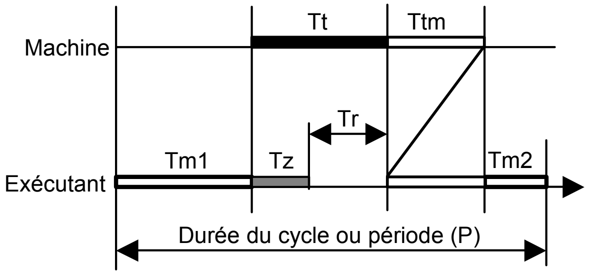
Le simogramme est la représentation graphique des tâches industrielles simultanées ou successives dans l'accomplissement d'un travail. L'intérêt du simogramme est de visualiser les activités du travail des exécutants et des machines concourant à la réalisation d'un processus complexe.

La représentation résulte d'une observation selon l'analyse d'un film. Elle peut porter sur un seul exécutant ou plusieurs, travaillant soit manuellement, soit sur une ou plusieurs machines, au même poste ou à des postes différents.

Chaque élément d'activité observé est porté par une ligne des temps (échelle des temps), à savoir :

– **Le temps manuel** (Tm) correspond à un travail uniquement humain.
– **Le temps technico-manuel** (Ttm) est un temps manuel qui dépend des conditions techniques de transformation (physique, chimique, …) de la machine ou du comportement des machines et des opérateurs.
– **Le temps technologique** (Tt) dépend uniquement des conditions techniques d'exécution.
– **Le temps masqué** (Tz) correspond à la durée d'une activité de travail secondaire accomplie pendant la durée d'une activité de travail principal.
– **Le temps résiduel** (Tr) est le temps d'inactivité correspondant à la différence entre le temps technologique et la somme des temps masqués : Tr = Tt – ΣTz.
– **Le temps d'équilibrage** (Te) est le temps complémentaire destiné à réaliser la synchronisation de plusieurs cycles.

Exemple 1 : Un exécutant et une machine



La durée de cycle (Tc) est égale à la somme des temps technologiques (Tz + Tr), technico-manuels et manuels.

$$Tc = \Sigma Tt + \Sigma Ttm + \Sigma Tm \quad \text{avec } \Sigma Tt = (Tz + Tr)$$

Deux types d'utilisation sont définies et couramment usitées :

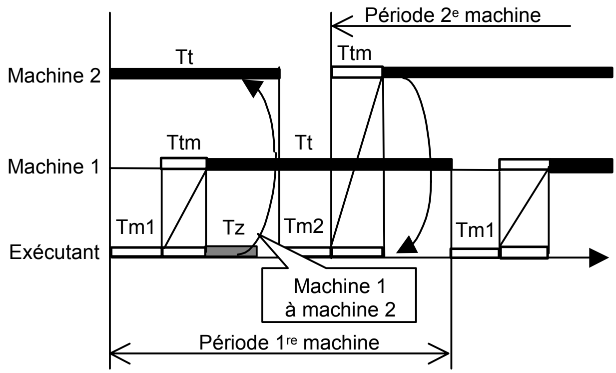
– Utilisation « **Ouvrière** », pourcentage d'occupation de l'exécutant pendant la durée du cycle.

$$UTO = (\Sigma Tm + \Sigma Ttm) / Tc \times 100$$

– Utilisation « **Machine** », pourcentage du temps d'utilisation de la machine pendant la durée du cycle.

$$UTM = (\Sigma Tt + \Sigma Ttm) / Tc \times 100$$

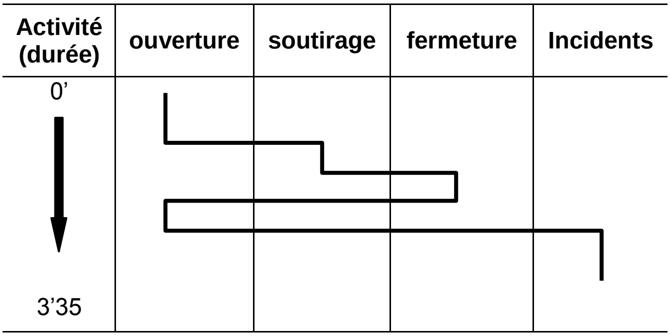
Exemple 2 : Un exécutant et deux machines



- **Représentations de déroulement des opérations**

– **Chronogramme des opérations**

Cette représentation est intéressante lorsque les phases sont répétitives. La longueur des traits est proportionnelle au temps passé.

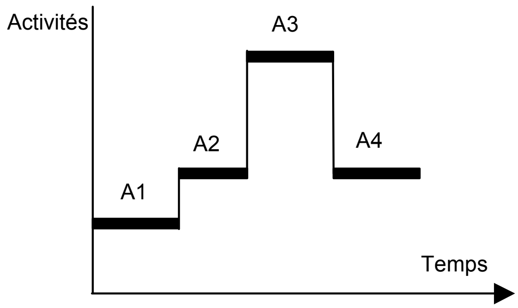


– **Diagramme GANTT**[101]

Représentation graphique des opérations selon leur durée et leur enchaînement.

Ce graphique s'utilise en phase prévisionnelle mais aussi en phase de suivi facilitant ainsi la comparaison entre le travail prévu et réalisé.

Exemple d'enchaînement des activités d'un opérateur



- **Cartographie des postures ergonomiques de l'opérateur**

Décomposition matricielle entre les différentes activités de l'opérateur et ses postures.

Ce graphique s'adresse à des points spécifiques de l'étude du poste de travail.

Postures / Activité	Couché	Assis	Debout	…
Activité 1		◆		
Activité 2	◆			
Activité 3			◆	

[101] H.L Gantt, ingénieur américain, a conçu le « graphique de GANTT », et a été le collaborateur de F. W . Taylor.

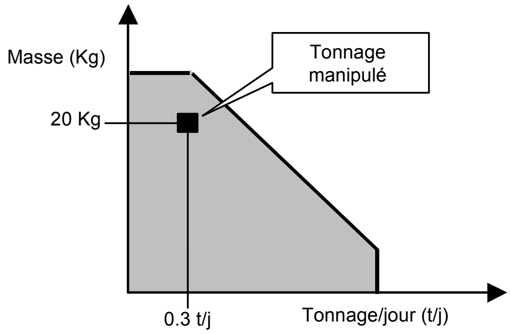
10.3.4 Démarches spécifiques

- **INRS**

À partir de la norme[102], l'Institut national de recherche et de sécurité propose une démarche visant à identifier la fréquence des manutentions des opérateurs. Il fournit des abaques précisant les limites acceptables.

Exemple :

Un opérateur manipule trois appareils hydrauliques de 20 Kg chacun, 5 fois par jour, soit 0.30 t/j. En observant l'abaque[103], on constate que les manutentions de l'opérateur se situent dans la zone acceptable.



- **CRAM**

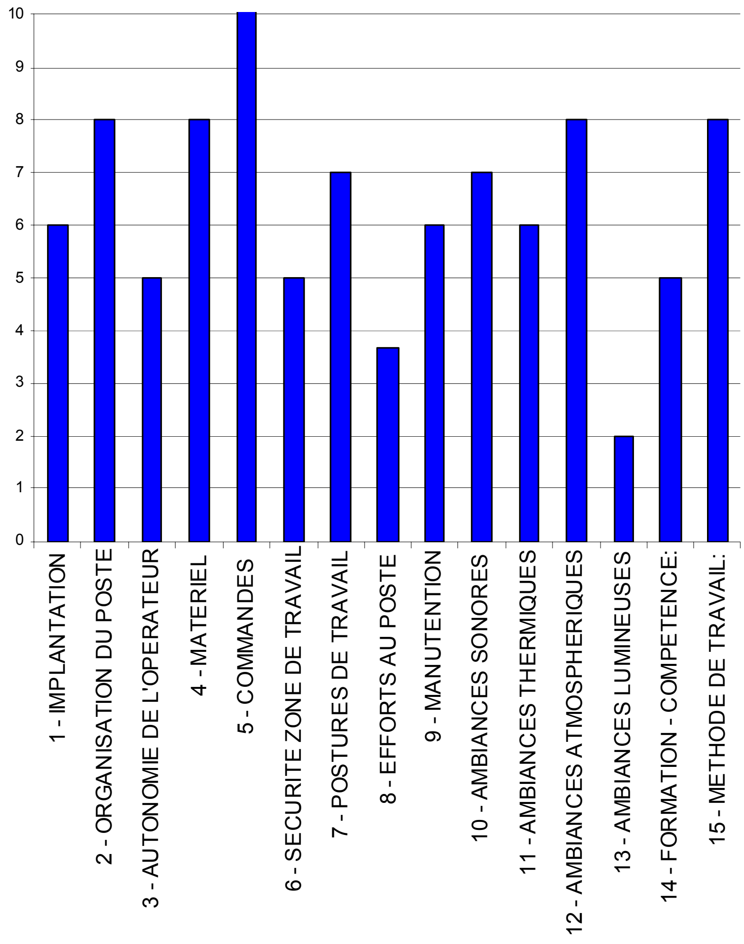
Sous le nom de « Synergie », la Caisse régionale d'assurance maladie (CRAM) propose une méthode pour étudier des situations de travail en production.

Un profil de poste défini, à partir de quinze critères, permet d'identifier rapidement les points critiques et d'engager des actions de remédiation, comme le montre l'exemple suivant (figure 10.1).

---

102. Norme NF X 35-109 *Limites acceptables de port manuel de charges par une personne.*

103. Pour utiliser l'abaque, se reporter au document « Méthode d'analyse des manutentions manuelles », INRS ED 776.



Pour indication :
0 à 2,5 : Situation médiocre à améliorer en priorité
2,5 à 5 : Situation insuffisante
5 à 7 : Situation passable
au delà de 7 : Situation acceptable

Figure 10.1 Exemple de profil de poste (synergie)

L'AFPI « Études et Préventions » propose également une fiche d'évaluation, des conditions et d'organisation du travail décrivant le poste de travail en vingt et un critères, suivi d'un profil de poste avec des anomalies constatées et des proposions de solutions retenues et appliquées.

10.3.5 Outils d'analyse critique

Quelques outils basiques[104] peuvent faciliter ce travail, comme QQOQCCP, « cinq pourquoi », méthode des « 5M », diagramme causes-effet.

10.4 Mesure et évaluation des temps

Ces techniques sont nécessaires lors de la description du système actuel au niveau global (étape 1), au niveau du poste (étape 2) et après la mise en œuvre des solutions d'amélioration (étape 6).

10.4.1 Mesure par échantillonnage

La méthode des observations instantanées[105] permet de caractériser assez rapidement le fonctionnement de plusieurs moyens de production en identifiant et en quantifiant les « états » qui n'apportent pas de valeur ajoutée. Elle permet souvent de dresser un bon constat de départ qui peut ensuite être affiné au besoin par des observations plus fines (en continu comme l'analyse de gaspillage, par exemple).

10.4.2 Mesure en continu

- **Le pendulage**

Réalisé par simple lecture sur une montre à affichage digital, il est notamment utilisé lors de l'analyse de gaspillage[106]. Le « pendulage » est également employé lors de l'analyse de déroulement[107] afin de relever la durée des opérations décrites suivant le formalisme propre à cette méthode.

- **Le chronométrage**

Dans le passé, cet outil fut souvent employé pour fixer des temps alloués à un salarié, utilisé d'ailleurs pour le système de rémunération (majoration pour un travail plus rapide et minoration dans le cas contraire). Il nécessitait une formation spécifique de « chronométreur[108] » pour acquérir notamment la capacité à porter un « jugement d'allure » sur l'exécutant.

---

[104] *Cf.* Chapitre 8 .

[105] *Cf.* Paragraphe 9.13.

[106] *Cf.* Paragraphe 9.12.

[107] *Cf.* Paragraphe 9.4.

[108] Qualification de chronométreur obtenue auprès d'organismes comme le BTE, CEGOS, par exemple.

Il ressort malheureusement de cette période une image très négative du chronométrage, qui rend délicate l'utilisation de cet outil. Ce dernier, sous certaines conditions (pas de jugement d'allure, utilisation limitée à des analyses en vue d'amélioration, explication des objectifs à l'exécutant) peut néanmoins permettre une description précise du système observé.

Principe du chronométrage

La recherche du temps standard d'une opération est calculé à partir d'un certain nombre de mesures de cette opération. On suppose que le travail effectué est stabilisé. Généralement l'activité de travail est divisée en fractions « chronométrables ». Le nombre de mesures, durée (t_0), est obtenu à partir de tables statistiques et de la fréquence annuelle du travail. La moyenne (T_0) des durées élémentaires (t_0) est corrigée en prenant en compte :

– Un **jugement d'allure** (JA) en fonction du rythme de travail de chaque opération, mesuré à partir d'un coefficient de performance (α). Le temps théorique sera :

  $$T_{th} = T_o.\alpha \text{ (pour un opérateur rapide, } \alpha = 1.2)$$

  Des coefficients[109] physiologiques d'effort (D), de position (P) et de monotonie (M) sont également pris en compte pour obtenir le temps théorique :

  $$T_{th} = T_o(D.P.M)$$

– Des **majorations** (m) correspondant à des temps improductifs (repos, modification de machines...). Le temps standard est :

  $$T_{sd} = T_{th}.(1 + m) = T_o.\alpha\ (1 + m)$$

- **Les enregistrements informatiques**

Des entreprises utilisent parfois des saisies informatisées d'événements (par code barres ou autre système) directement au niveau des postes de travail. L'analyse de l'historique ainsi généré permet une bonne caractérisation du système et évite la tâche fastidieuse du relevé en continu des opérations.

[109] Des tableaux techniques indiquent les valeurs de m en fonction de l'effort (D), de la position du corps de l'opérateur (P) et de la monotonie (M). document du BTE.

10.4.3 Méthode MTM et temps prédéterminés

L'objectif de la méthode MTM[110] (*Method Time Measurement*) consiste à découper chaque fraction de travail (tâche ou opération) en mouvements essentiels successifs, puis attribuer des temps prédéterminés à chacun de ces mouvements ou groupes de mouvements. La mesure de la durée de ces mouvements est faite en laboratoire et les résultats sont consignés dans des tables ou des barèmes standards.

Les principaux mouvements sont : Atteindre (R), Mouvoir (M), Saisir (G), Tourner (T), Positionner (P), Lâcher (RL), Désengager (D), Appliquer Pression (AP), Tourner manivelle (C).

D'autres mouvements en rapport avec les membres du corps sont définis. Le résultat de toutes les études de mouvement est consigné dans des tables MTM© diffusées par l'Association française MTM.

L'unité de temps est le « Time Measurement Unit » (TMU) égal à 6.10^{-4} mn. La méthode MTM[111] créée par H.A Maynard, G.J. Stegemerten et J.L. SCHWAB en 1945 est la plus utilisée.

Aujourd'hui, cette méthode a évolué vers d'autres comme les méthodes MOST (*Maynard's operation Sequence Techniques*) ou WF (*Work Factor*) où l'analyse est basée sur les mouvements des différentes parties du corps : tronc, bras, jambe… Ces mouvements sont affectés de coefficients dépendant des facteurs de travail.

10.4.4 Courbe d'apprentissage ou d'expérience

En 1936, la Curtiss Wright Corporation met en évidence la décroissance des temps de fabrication pour une opération ou un produit donné, fabriqué en série au fur et à mesure de l'avancement des fabrications. Cette mise en évidence a donné naissance à la loi Wright. Elle est utilisable dans le cadre d'un système de production stabilisé (produits et opérateurs).

---

[110]. M.T.M appelée aussi méthode des tables de mouvements. F.W. Taylor se consacra à l'étude des temps et le couple Gilbreth à l'étude des mouvements.

[111]. En 1947, la méthode MTM est diffusée aux États-Unis et enseignée dans le monde à partir de 1951 (MTM *Association for standards and research*) et en France en 1952 grâce à l'Association française MTM.

Principe

On constate que le temps nécessaire à l'exécution d'un travail déterminé diminue chaque fois que l'opérateur répète la même opération ou la même phase de travail. Cette diminution est due aux accoutumances mentales et gestuelles, à l'efficacité, à l'habilité, à l'auto-formation, à l'habitude, à la période de rodage des machines et outillages… Wright constate que chaque fois que l'opération est répétée, le temps unitaire est multiplié par un facteur constant ($k < 1$) lié à cette opération. Une loi est donc formulée mathématiquement.

Ce principe ramené à un problème de coût du travail (C_i), on a :

$$C_2 = kC_1,\ C_3 = kC_2 \text{ soit } C_3 = k^2C_1 \text{ et ainsi de suite, donc } C_i = k^{(i-1)}\,C_1$$

Il s'agit de trouver une loi continue de forme $C_i = k^x\,C_1$ et de calculer (x) fonction de i. (x) suit une progression géométrique de raison ($r = 2$) et de premier terme ($a = 1$) et i suit une progression arithmétique de raison ($r = 1$) et de premier terme ($a = 0$).

Supposons (n) le rang de la progression, on a pour la progression géométrique :

$$P_g = a.r^{(n-1)} \text{ et pour la progression arithmétique } P_a = a + r(n - 1).$$

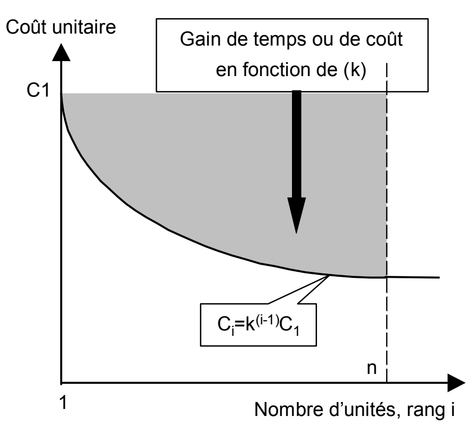
Donc pour le même rang, on a :

$$i = 2^{(n-1)} \text{ et } x = n-1, \text{ donc } i = 2^x, \text{ soit } x.\log 2 = \log i,\ x = (\log i) / (\log 2)$$

Ce qui donne :

$$C_i = k^x\,C_1 = C_i = C_1.k^{\frac{\log i}{\log 2}}$$

En fonction des coefficients, une courbe d'apprentissage est tracée.



10.5 Collecte et recueil d'informations

Suivant le type d'information désiré et l'objectif visé, certains outils sont utilisables tout en présentant des avantages et des inconvénients. Ces outils dépendent des possibilités du terrain et des moyens disponibles.

10.5.1 Recueil d'informations

Il s'agit de récolter tout type d'information, de documents ou autres supports (plans, chiffres, notes, schémas, procédures…). Tous ces documents vont être confrontés les uns aux autres. Cela va permettre d'établir des hypothèses, puis de découvrir des problèmes à traiter et à résoudre.

Plusieurs formes d'enquêtes sont possibles selon le type d'information que l'on désire extraire.

- **L'interview**

– la prise de notes (information partielle, dépouillement rapide, non visuel…),

– le magnétophone (échange entre l'interviewer et l'interviewé, temps important de ré-écoute…),

– le caméscope ou la caméra (permet des « retours en arrière », observations fines, arrêts sur images, garder l'image en mémoire…),

Note : Le dépouillement de ces informations peut se faire de différentes façons : tableau, statistiques, traitement informatique et/ou graphiques… Chaque interview relative à une situation de travail peut être conduite avant (travail prescrit), pendant (travail réel) ou après le travail (confirme ou non les hypothèses).

Selon les objectifs visés, l'interview peut être :

– directive (ordre des questions est donné),

– semi-directive (un ordre des questions est pré-établi, mais une certaine liberté est laissée à l'interviewé),

– non directive (le questionnement est libre).

- **Le questionnaire**

Le questionnaire est un moyen de masse pour recueillir des informations. Il permet d'obtenir des opinions ou des avis (à court ou à long terme) auprès d'un large public (échantillon important) à partir de questions, d'affirmations, de faits annoncés…

Le questionnaire émerge généralement d'un besoin d'information globale sur un sujet ou un phénomène précis et pratique afin de l'expliciter.

Lancer un questionnaire suppose de choisir :

– des questions qui peuvent être ouvertes, fermées, à choix unique ou multiples,
– une population d'étude (en rapport avec l'étude) et un échantillon (choix de la taille en fonction de la représentativité recherchée),
– un type de dépouillement du questionnaire à partir de tableaux, graphiques... (histogramme, corrélation, tris croisés, statistiques...).

10.5.2 Modèles de recueil d'informations

- **Modèle RAR**

Le modèle RAR[112] permet de représenter un poste de travail ou système de production de bien ou de service en trois composantes : Ressources, Activités et Résultats.

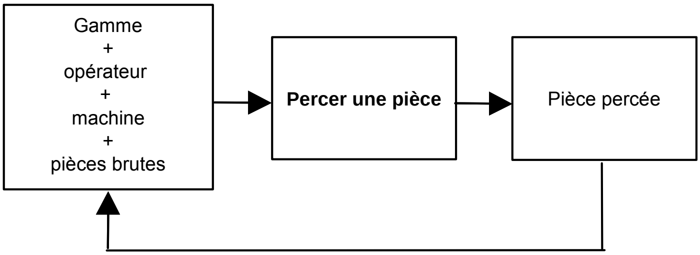
– **Ressources** : ce sont les moyens nécessaires à mettre en œuvre pour obtenir un résultat attendu. C'est « **le nécessaire** » pour réaliser une activité.
– **Activité** : c'est la mise en œuvre des moyens (planifier, diriger...), c'est « **le faire** ».
– **Résultat** : c'est ce qui résulte des activités. C'est le produit du processus, l'objectif à atteindre. Ce qui correspond aux besoins spécifiques. C'est « **l'attendu** ».

L'intérêt du modèle RAR est de cerner ces trois composantes d'un poste de travail que l'on étudie afin d'agir sur celles-ci.

Généralement, on construit des grilles d'audit pour remplir ces trois composantes (voir l'exemple suivant : perçage d'une pièce).

---

[112]. Le modèle RAR a été développé au Laboratoire de recherche en génie des systèmes industriels à Nancy, sous la responsabilité de Maurice Castagné, 1994.



Note : Une **boucle de rétroaction** permet de corriger les activités en fonction de l'évaluation des résultats.

La grille RAR serait dans ce cas :

Processus : ______________________________ Grille RAR		
Activités	Ressources	Résultat attendu
Percer un trou de diamètre de 8 mm	- Perceuse - Foret de 8mm	Trou percé selon les dimensions du plan.

Notes :

– Plus on spécifie le résultat attendu, plus il sera aisé de choisir l'activité adéquate et de repenser les moyens nécessaires à mettre en œuvre.

– Il est nécessaire de commencer à préciser ou à évaluer les résultats attendus avant d'entreprendre toute activité et de recenser toutes les ressources.

- **Méthode INRS**

Parmi ses nombreuses démarches et méthodes, l'INRS[113] propose une analyse centrée sur les opérateurs.

Exemple d'analyse d'un élément du poste de travail

La pénibilité au travail :

– recueil des informations et observation des opérateurs (plaintes, tâches fatigantes …),

– classement des postes « pénibles » (absentéismes, « employabilité » des intérimaires, affectation du personnel…),

– analyse des accidents (enquêtes sur les conditions de travail).

[113]. *Cf. Les méthodes d'analyse des manutentions manuelles*, INRS, ED 776, 2000.

10.6 Projet d'amélioration

10.6.1 Notions d'ergonomie

Tout projet d'amélioration de poste de travail fait appel à des notions fondamentales d'ergonomie. Les normes NF X 35-001 et NF X 35-101 précisent que les principes ergonomiques prennent en compte les conditions de travail et ont pour objectifs :

– le confort et la réduction de la fatigue de l'homme,
– la santé de l'homme,
– les conditions d'hygiène et de sécurité au poste de travail,
– la réduction de la monotonie liée au travail répétitif.

- **Poste de travail et moyens associés**

La conception d'un poste de travail doit prendre en compte :

– la morphologie et les mensurations de l'opérateur (hauteur, volume de travail, position des commandes…),
– les conditions de travail (posture, effort musculaire et mouvement),
– la signalétique du poste de travail (elle doit être lisible, claire, accessible et compréhensible),
– les organes de commandes (forme, accessibilité, adaptabilité…).

- **Environnement de travail**

L'environnement doit garantir à l'opérateur de bonnes conditions de travail. Les locaux sont adaptés et sécurisés (qualité de l'air, éclairage, ambiance sonore). Les flux de circulation (matière, transport, piéton…) doivent être bien différenciés, repérés et sécurisés.

- **Organisation du travail**

La conception du poste de travail doit intégrer une organisation qui privilégie un élargissement des tâches (tâches associées à la place d'une tâche spécifique) ainsi qu'un enrichissement des tâches (polyvalence).

- **Ressources documentaires**

AFNOR publie un certains nombre de normes sur le sujet que le lecteur pourra consulter dans le cas d'une étude (postures et dimensions, principe de signalisation…). Des organismes (INRS, APACT…) publient également des recommandations sur le sujet.

10.6.2 Recherche de solutions

Cette phase est couramment menée dans le cadre d'un groupe de travail.

- **Techniques de créativité**[114]

Le *brainstorming* ou les autres méthodes de créativité peuvent intervenir à ce stade.

- **Analyse de la valeur processus**[115]

Elle s'inscrit dans la continuité de l'analyse fonctionnelle processus[116] concrétisée par la rédaction d'un cahier des charges fonctionnel définissant le processus hors gaspillages.

La comparaison entre le CDCF (juste nécessaire) et le processus existant décrit par l'analyse de déroulement (précisant les états stables et fugaces) va mettre en évidence les dysfonctionnements.

Par une approche technico-économique (étude des coûts), l'analyse de la valeur processus va chercher à optimiser ce dernier.

Rendement de conception

Pour chaque état, on peut définir son coût d'obtention. Le rendement de conception du processus pourra se calculer ainsi :

$$r = \frac{Coûts_{États\ stables}}{Coût_{Total}} \times 100$$

ou

$$r = \frac{Coûts_{États\ stables}}{(Coûts_{États\ stables} + Coûts_{États\ fugaces})} \times 100$$

Rappel : On trouve fréquemment dans les ateliers de type *job-shop* des rendements de l'ordre de 20 %, ce qui signifie qu'il existe un 80 % d'état fugaces (gaspillages).

---

114 *Cf.* Paragraphe § 8.5 .

115 Principale source bibliographique : l'article de Christian Teixido et Marc Polizzi paru dans un numéro spécial analyse de la valeur de la revue Technologie du CNDP (n° 74 mars 1995).

116 *Cf.* paragraphe 9.10.

Recherche et évaluation des solutions

Deux pistes sont couramment utilisées pour essayer d'améliorer le rendement :

– Par analyse du juste nécessaire (états stables). On agit sur l'excédent résultant de choix technologiques mal adaptés pour obtenir certains états stables et entraînant parfois des états fugaces.
– Par analyse de la fonction de conception (états fugaces), on peut essayer de supprimer ou de réduire le coût d'états fugaces critiques.

- **AMDEC Processus**

La méthodologie AMDEC comporte une phase de recherche de solutions d'amélioration. Menée dans le cadre d'un groupe de travail, elle utilise largement des techniques de créativité évoquées précédemment. Par souci de clarté, nous n'avons pas scindé la méthodologie AMDEC ; le lecteur est donc invité à se reporter au paragraphe 9.11 de cet ouvrage pour consulter la partie propre à la recherche de solutions de cette méthodologie.

- **Autres méthodes**

De manière générale, toute les méthodologies d'amélioration développées dans le cadre d'un groupe de travail comportent une phase de recherche de solutions qui utilise d'ailleurs le plus souvent les techniques de créativité évoquées précédemment. Seul diffère l'objectif de l'étude, ce qui explique d'ailleurs l'utilisation d'une méthodologie spécifique.

À titre d'exemple, nous pouvons citer :

– Méthode « 5S », visant l'amélioration du lieu de travail par l'implication des hommes.
– TPM (*Total Productive Maintenance*), dont l'objectif principal est d'amener les équipements à leur rendement maximum.
– SMED dont l'objectif est la réduction des durées de changement de série.
– Six sigma dont le but principal est également l'amélioration des processus.
– Kaizen visant des petites améliorations faites constamment, jour après jour, par des équipes multidisciplinaires.
– Analyse des gaspillages, visant l'identification et la quantification des gaspillages afin d'engager des actions pour les réduire ou les supprimer.
– Analyse de déroulement, outil plus ancien qui comporte également une phase de recherche de solution.

10.6.3 Description du poste amélioré

Il s'agit de définir précisément le fonctionnement du poste amélioré, donc de préciser les modifications retenues.

Certains outils utilisés pour décrire le fonctionnement du poste dans son état initial sont utilisables pour traduire le nouveau mode de fonctionnement envisagé.

Par exemple :

– **L'analyse de déroulement** permet de visualiser rapidement les modifications et de quantifier les gains (temps, distance…). L'utilisation d'un format de document identique entre la situation initiale et finale facilite la comparaison.

– **L'analyse de gaspillage** prévoit, après la recherche de solutions, une évaluation des gains.

  Il s'agit de préciser pour chaque famille de gaspillage identifiée si celle-ci est supprimée ou réduite dans une proportion qu'il convient d'estimer. Cette estimation est réalisée sous le même format de présentation (tableau, graphique) que celui utilisé pour la situation initiale.

  Le plus souvent un tableau récapitulatif (voir l'exemple ci-après) permet une bonne synthèse.

Famille de gaspillage	**Situation initiale**			**Situation finale**			**Gains prévus**
	Nat.	Durée	%	Nat.	Durée	%	
X	G	1481	12	G	490	4	991
…	…	…	…	…	…	…	…

  Une colonne supplémentaire peut être ajoutée pour rappeler les solutions retenues permettant ce gain.

  Cela n'est qu'un exemple de principe et doit être adaptée à l'étude.

– **Les simogrammes** permettent d'expliquer clairement le fonctionnement après amélioration.

  D'une manière générale, l'utilisation de graphiques ou de schémas est souvent utile pour faciliter la description du poste amélioré.

– **L'estimation des temps** est couramment réalisée à ce stade par le groupe de travail en utilisant un ratio (pour cette solution je peux espérer un gain de ½, ¼ …).

10.7 Évaluation des solutions

Le coût de chaque solution est évalué en intégrant les dépenses externes (achat de matière première, composants, produits, entreprises extérieures…) et/ou les dépenses internes (étude, réalisation, installation, formation…).

Le délai de récupération de capital[117] (RC), est défini pour chaque solution, classiquement :

$$\boldsymbol{RC}_{\ (nombre\ \ d'année)} = \frac{\boldsymbol{Coût\ \ total}_{\ (euros)}}{\boldsymbol{Gain\ \ annuel}_{\ (euros\,/\,an)}}$$

À noter que dans l'approche TOC[118], s'il s'agit d'un poste goulet, le gain ne se limite plus au poste lui-même mais à l'usine entière (une heure gagnée sur un poste goulet = une heure de produit des ventes supplémentaire). Ce raisonnement appliqué au ratio précédent amène souvent à une récupération de capital très rapide.

Le retour d'investissement[119] peut également être utilisé comme critère de décision. Il s'exprime le plus souvent en pourcentage et se calcule de la manière suivante :

$$\boldsymbol{RI} = \frac{\boldsymbol{Gains\ \ réalisés}_{\ (euros)}}{\boldsymbol{Capital\ \ investi}_{\ (euros)}} \times 100$$

Ce ratio est parfois nommé rentabilité du capital investi, taux de profit, taux de rendement ou tout simplement rendement.

Il arrive également que des critères moins faciles à valoriser en termes de gains financiers soient pris en compte, comme la diminution des délais, l'augmentation de la vitesse de flux, l'amélioration des conditions de travail…

Un tableau de synthèse comme suit peut être utilisé pour récapituler les solutions et définir les priorités d'actions.

---

117 Nommé « Payback » par les Anglos-Saxons.

118 TOC : « Théorie Of Constraints », *cf.* chapitre 7.

119 À noter que la terminologie « retour d'investissement » est parfois utilisée abusivement pour désigner le « délai de récupération de capital ».

Solution	Coût prévisionnel	Critères de décision				Priorité
		RI	↘ Délai	↗ Vitesse de flux	…	
S1						
S2						
…	…	…	…	…		…
Sn						

10.8 Mise en œuvre

10.8.1 Calendrier et responsabilités

Les solutions retenues sont planifiées et attribuées à des responsables pour leur réalisation.

Solution	Coût prévisionnel	Gain prévisionnel	Responsable	Date de fin prévue
S1				
S2				
…		…		…
Sn				

10.8.2 Suivi et mesure des écarts

- **Objectifs temporels (délai)**

Chaque responsable suit l'avancement des actions qui lui sont attribuées en visant les dates de fin qu'il cherche à respecter.

- **Objectifs financiers (coûts)**

Un budget prévisionnel est affecté à chaque solution, toute dépense relative à sa réalisation est enregistrée. Le responsable suit l'évolution des coûts par rapport à l'avancement de la mise en œuvre et vise à ne pas dépasser le budget fixé.

- **Objectifs de performance (gains)**

Ils ne sont vérifiables qu'une fois les solutions opérationnelles réalisées. À cet instant, on mesure précisément les durées des nouvelles opérations et donc les gains réellement réalisés.

L'ensemble des résultats peut être regroupé sous forme d'un tableau, comme suit :

Solution	Délai			Coût			Gain		
	Prévu	Réel	Écart	Prévu	Réel	Écart	Prévu	Réel	Écart
S1									
S2									
…									…
Sn									

10.8.3 Analyse et remédiation

Concernant les **objectifs temporels et financiers**, l'analyse et la remédiation sont réalisés en continu, durant toute la durée de la réalisation des solutions. Il est en effet plus « facile » de remédier à une dérive concernant un délai ou un coût, dès sa détection. À la fin du projet, il est trop tard.

Les **objectifs de performance** ne sont quantifiables qu'à la fin de la réalisation. Deux situations peuvent se produire :

– Gains supérieurs ou sensiblement égaux à ceux estimés : les solutions sont donc validées et pérennisées.
– Gains inférieurs à ceux estimés : le groupe de travail doit identifier les causes, les analyser et rechercher des actions correctives. La validation ne pourra être réalisée qu'à l'issue de la réalisation de celles-ci.

10.8.4 L'apport de la gestion de projet[120]

La gestion de projet est un excellent outil notamment pour :

– Définir le calendrier et les responsabilités des acteurs. Elle permet de fixer précisément les activités à mener pour la mise en œuvre des solutions retenues et d'affecter les ressources nécessaires (en intégrant les contraintes de capacité).
– Suivre et mesurer les écarts du projet réel par rapport au prévisionnel. Les objectifs temporels et financiers font parties intégrantes de cette méthodologie.

---

[120] *Cf.* Chapitre 4.

11
L’implantation d’atelier

Avec une compétitivité industrielle accrue et la recherche constante de la réactivité face aux besoins du marché, les entreprises se focalisent de plus en plus sur l’organisation de leurs flux physiques.

Certes, cette réorganisation des ateliers n’est pas nouvelle, mais avec le contexte économique d’aujourd’hui, elle amène les entreprises à innover dans leurs méthodes d’implantation des ateliers. Les produits deviennent de plus en plus complexes et personnalisés.

Les raisons principales de cette organisation sont multiples, mais toutes convergent vers une meilleure lisibilité des flux :

– améliorer la gestion des flux, donc la productivité en réduisant les trajets entre les postes (réduire le délai), en éliminant les points d’engorgement, évitant les retours en arrière…,

– minimiser les stocks d’en-cours, les manipulations, les pertes de pièces ou leur détérioration,

– améliorer les conditions de travail en réduisant la fatigue et en améliorant l’adéquation entre le travail prescrit sur poste et la compétence de l’opérateur tout au long des flux,

– optimiser l'occupation des surfaces (frais, impôts...) par une meilleure prise en compte des contraintes des bâtiments (formes, dimensions, ouvertures, alimentation énergétique…) et des moyens de production (bruit, formes, dimensions, sécurité, vibration…).

Faire l'étude d'une implantation suppose de prendre en compte plusieurs données industrielles comme les zones de travail et les moyens de production, les processus, les accès, les flux physiques... Généralement plusieurs solutions sont possibles, il faut choisir la moins coûteuse et la plus performante.

En résumé, connaissant la gamme opératoire (liste ordonnée des machines nécessaires à la fabrication des produits), l'objectif de l'implantation sera de minimiser le coût total (Ct) de transport (en intégrant les contraintes, locaux, énergie, ambiance) :

$$Ct = \min \{I_{ij} + D_{ij} + C_{ij}\}$$

Avec :

I_{ij}, indice de circulation entre le poste(i) et le poste(j).

D_{ij}, distance entre le poste (i) et le poste (j).

C_{ij}, coût unitaire de transport0

Cependant une étude d'implantation est longue et coûteuse. Elle n'est pas définitive, il faut l'adapter continuellement en fonction de l'évolution des demandes du marché.

Toute implantation défaillante ou imparfaite provoque des répercussions négatives sur la production. L'arrivée des nouvelles technologies (machines polyvalentes, NTIC[121]...) et de logiciels (CFAO, GPAO, ERP...) doit également être intégrée dans le projet. L'objectif est de diminuer les cycles de production, les en-cours et de mieux utiliser les surfaces disponibles. Un bon agencement est synonyme d'économie, de réactivité et de compétitivité accrue.

Les méthodes heuristiques et mathématiques sont fortement utilisées dans les projets d'implantation. L'aspect humain y prend toute sa place.

---

[121] NTIC : nouvelles technologies de l'information et de la communication.

11.1 Typologie de process et modèles basiques d'implantation

Le concept de « process type » est souvent confondu avec l'implantation. Pourtant, les **types de process** traduisent des modèles organisationnels caractéristiques dont la mise en œuvre sur le terrain se concrétise par **une implantation** des moyens physiques de production.

Généralement, décider d'une implantation d'équipement amène à trois niveaux décisionnels :

– choisir un type de process,

– choisir un modèle basique d'implantation,

– choisir et concevoir l'implantation détaillée.

11.1.1 Choix d'un « process type »

Le plus souvent, les caractéristiques volume/diversité d'une production impliquent un process type (figure 11.1).

Type de process	Volume	Diversité	Coût
par projet ou à l'affaire	faible	important	important
Par entité spécialisée			
Par lots	↓	↓	↓
Par ligne			
En continu	important	faible	faible

Figure 11.1 Relation Volume/diversité et process type

Un process dédié permet une production de grand volume à faible coût, mais avec peu de diversité. Par opposition, un process très flexible permettra une grande diversité mais une production de faible volume et par conséquent des coûts plus importants. Les objectifs stratégiques de l'entreprise guident généralement le choix d'un process type.

11.1.2 Choix d'un modèle basique d'implantation

Le type de process étant défini, l'allure générale de la disposition des équipements de production reste à préciser : il s'agit alors de choisir un modèle basique d'implantation.

En pratique, la plupart des implantations dérivent de quatre modèles de base :

– Implantation à position fixe (*fixed-position layout*).
– Implantation fonctionnelle (*functional layout*).
– Implantation par cellules (*cellular layout*).
– Implantation en ligne (*product layout*).

• **Implantation à position fixe**

Dans ce modèle, le produit est stationnaire et les ressources nécessaires (machines, hommes…) sont mobiles : c'est le principe d'un chantier. Cela est justifié lorsqu'il est trop difficile, voire impossible de déplacer le produit. À titre d'exemple les secteurs suivants illustrent ce principe :

– construction aéronautique,
– génie civil, construction de routes ou d'autoroutes,
– construction navale,
– maintenance de système informatique industriel…

Dans une telle implantation, la difficulté principale concerne l'affectation des zones réservées aux différents intervenants et matériels, afin :

– de disposer d'un espace suffisant pour leurs besoins,
– de recevoir et stocker leurs fournitures,
– d'accéder à la partie du projet les concernant sans interférences entre eux,
– de minimiser les déplacements des intervenants, de leurs véhicules ainsi que des fournitures nécessaires.

En pratique, la plupart des sites attribuent un emplacement permanent aux intervenants à long terme sur le projet et utilisent des zones temporaires pour les autres.

Les choix organisationnels décidés lors de ce type d'implantation ont une incidence directe sur les performances obtenues dans la gestion du projet (ruptures, retards…).

• **Implantation fonctionnelle ou sections homogènes**

Dans ce modèle, les procédés identiques sont regroupés dans un même lieu. Ceci peut être justifié pour des raisons de facilité (contraintes liées à des procédés) ou pour améliorer l'utilisation des ressources (répartition de la charge de travail).

Les produits répondant à une grande diversité des besoins clients suivent évidemment des circuits très différents. C'est pour cette raison que les flux peuvent être relativement complexes. À titre d'exemple, les secteurs suivants illustrent ce principe :

– procédés de traitements thermiques nécessitant des installations spécifiques (extraction des vapeurs et des fumées),
– procédés de finition nécessitant des locaux spécifiques (éclairage, poussières, évacuation des vapeurs toxiques…),
– procédés d'usinage regroupés par section (fraiseuses, perceuses, tours…),
– en milieu hospitalier, les laboratoires ou la radiologie sont regroupés et servent à tous les services spécifiques.

- **Implantation par cellules ou îlots**

Il s'agit dans ce modèle de constituer un groupe de ressources différentes nécessaires à la réalisation d'une suite d'opérations pour un type de produit. Leur disposition suit un ordre logique. Cela facilite le transfert des pièces d'une opération à une autre et augmente la vitesse de flux. Le principe consiste à rechercher des similitudes au niveau des familles de produits et/ou de process. Ainsi, il existe des cellules par process (par exemple : cellule de finition) mais aussi par famille de produits (concept largement utilisé).

La réalisation d'une production peut nécessiter le passage entre plusieurs cellules différentes mais simplifie considérablement la complexité des flux d'une implantation fonctionnelle (modèle précédent). Ce type d'implantation conserve toutefois une certaine flexibilité par rapport à une implantation par ligne (modèle suivant).

Les activités de pilotage, d'ordonnancement et de planification de production sont largement simplifiées. Souvent, ce type d'implantation favorise le management par équipes autonomes et pluridisciplinaires. Quelques exemples :

– fabrication et assemblage de modules types de mobilier de cuisine ou de salle de bain (meubles bas, hauts, armoires…),
– montage de composants électroniques, circuits imprimés…

- **Implantation en ligne**

Dans ce modèle, il s'agit de dédier les ressources nécessaires à un produit type ou à une famille de produits. Ces dernières sont implantées en respectant la chronologie des opérations réalisées sur le produit (gamme de fabrication).

Les flux (produits et information) clairs et prévisibles sont faciles à gérer. Ce type d'implantation permet d'écouler un flux produit important mais nécessite un bon équilibrage de ligne (*cf.* § 11.5.5). La recherche de standardisation des composants favorise la mise en ligne par famille de produits.

Les industries de type pétrochimiques, agroalimentaires ou pharmaceutiques utilisent plutôt le terme de « ligne de process ».

Le terme de « flux continu » (*flow shop*) est aussi largement utilisé. Quelques exemples :

– lignes d'assemblage automobiles, d'électroménager,
– papeterie, industries laitières et fromagères,
– fabrication de médicaments…

- **Implantations mixtes**

La combinaison de différents éléments des modèles de base est assez fréquente et aboutit à des systèmes hybrides et/ou faisant coexister sur un même site plusieurs modèles d'implantation.

- **Relation entre volume et modèles de base**

Le volume et la diversité de la production sont deux paramètres importants pour sélectionner un modèle d'implantation.

La régularité du flux quant à elle varie suivant les modèles retenus comme le présente la figure suivante.

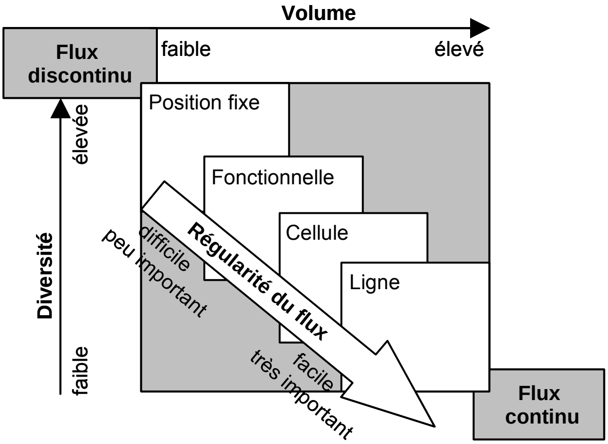


Figure 11.2 Relation Volume/diversité et modèles

- **Choix du modèle**

Le volume et la diversité de la production évoqués précédemment, ainsi que les coûts, sont des critères de choix importants pour la prise de décision. En effet, les modèles de base ont des coûts fixes et variables très différents, donc des domaines d'utilisation privilégiés. Pour un coût et une diversité donné, un modèle basique d'implantation est préconisé, comme le présente la figure suivante.

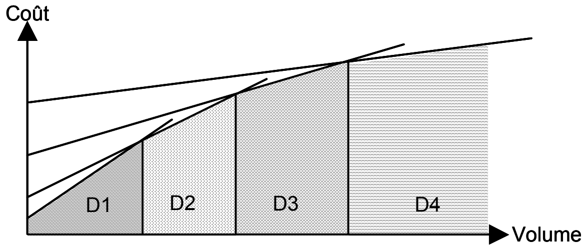


Figure 11.3 Relation coûts/volume et modèles basiques d'implantation

À chaque modèle correspondent des avantages et des inconvénients à considérer lors de la décision finale.

	Avantages	Inconvénients
Position fixe	Très grande diversité, très bonne flexibilité Grande variété de tâches (haute qualification)	Coûts élevés Planification parfois difficile des tâches Nombreux déplacement du personnel
Fonctionnelle	Supervision et management traditionnel Utilisation de personnel qualifié et dédié à un poste	Personnel peu polyvalent Génère des en-cours et des files d'attentes Flux complexes difficiles à gérer
Cellules	Bon compromis entre coût et flexibilité En-cours faibles, bon écoulement du flux Motivation du personnel élevée	Nécessite un investissement humain et matériel parfois important Utilisation parfois faible des moyens
Lignes	Hauts volumes et faibles coûts unitaires Très bon écoulement du flux	Travail spécialisé et répétitif Très faible flexibilité

11.1.3 Choix et conception de l'implantation détaillée

Après avoir sélectionné le type de process et le modèle de base, il s'agit de définir précisément l'implantation des moyens et des flux. Les types de produits représentatifs de la production sont tout d'abord à identifier. La méthode de classement ABC[122] peut aider à ce choix à partir des gammes opératoires et des flux exprimés en pièces, palettes, caisses par unité de temps (jour, mois, année).

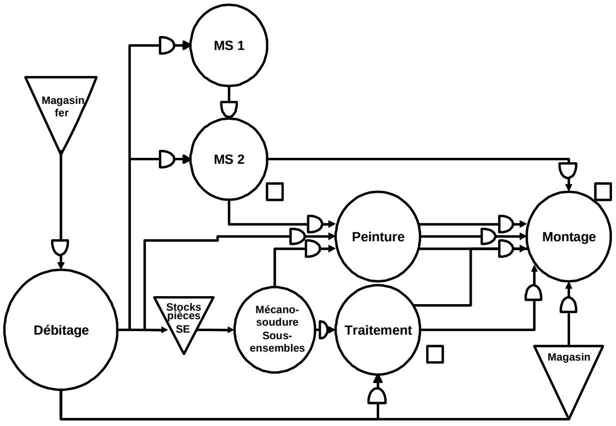
De cette phase d'étude, il ressort que :

- la localisation précise des centres de charges (moyens et équipements de production, personnel),
- le dimensionnement de l'espace nécessaire (zones de travail, d'évolution, d'en-cours…),
- la définition des tâches et des opérations par centre de charge.

Des techniques d'analyse théorique peuvent aider à la réalisation de ce travail. Elles seront situées dans une démarche globale (§ 11.2) et détaillées dans les paragraphes suivants.

On a l'habitude de représenter le flux des produits dans un atelier à l'aide d'un diagramme d'analyse de déroulement[123] permettant de visualiser rapidement le flux des pièces, les zones d'attente et de transformation.

Exemple : Schéma de flux physique d'une ligne de carrosserie

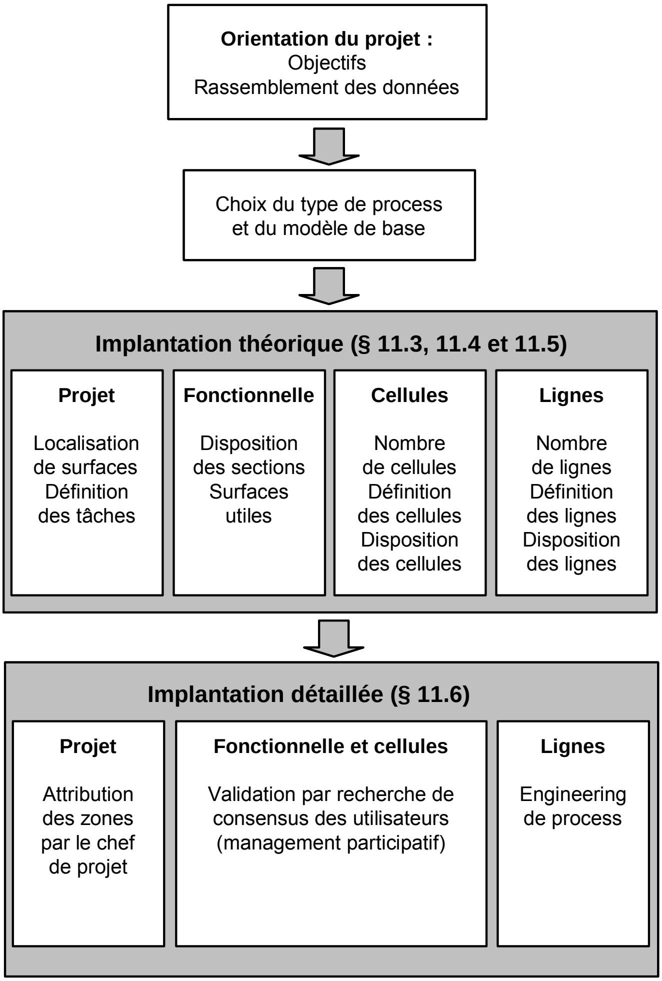


---

[122]. *Cf.* Paragraphe 8.2.

[123]. *Cf.* Paragraphe 9.4.

11.2 Démarche d'implantation



11.2.1 Orientation du projet

- **Objectifs**

Une étude d'implantation ou de réimplantation se justifie par un souci d'amélioration de productivité, en particulier une augmentation de la vitesse de flux.

Cette démarche s'inscrit le plus souvent dans une philosophie Juste à temps.

Il est cependant important de bien définir l'orientation du projet en répondant à quelques questions simples :

– Pourquoi ? Quels sont les buts et les objectifs ?
– Quel délai ?
– Quel budget ?
– Quels moyens ?
– Quelles contraintes (contexte de l'entreprise et de son marché, typologie de fabrication, surfaces…) ?
– Quelle pérennité prévisionnelle ?
– Quels indicateurs de performances ?

- **Rassemblement des données**

– Situation géographique : prise en compte des facteurs économiques et financiers (coût, subventions aides, proximité infrastructures…), social (recrutement, qualification…) et technique (savoir-faire reconnu d'un bassin industriel).
– Bâtiments : plan de masse et plans détaillés des bâtiments (poteaux, ouvertures, niveaux, escaliers, ascenseurs et autres contraintes) pour des locaux existants.
– Équipements : à acquérir en totalité (usine neuve) ou à compléter. Principales caractéristiques de chaque poste (dimensions, sens de travail, encombrement, aires de travail, nombre et position des opérateurs…).
– Matières premières : type, dimensions, masse et/ou volume et particularités (nocivités, fragilité...). Détermine le matériel de manutention, les aires et les moyens de stockage, les conditionnements.
– Fréquence et importance des livraisons déterminent les aires de stockage. Par exemple : 200 m^3 de panneaux consommés par mois, livrés en une fois nécessitent une zone de stockage de 200 m^3 mais seulement 50 m^3 si la fréquence de livraison passe à 4.
– Produits fabriqués et futurs : gammes de fabrication (pièces, sous-ensembles, ensembles), quantités produites et volume (unitaire et/ou de manutention) sur une période de temps (semaine, mois, année…).
– Importance des séries : détermine les volumes à manutentionner, les unités de manutentions et leur nombre, les aires destinées au en-cours et au stockage ainsi que les charges de travail.

- Charge de travail : estimation du parc machines nécessaire à partir des temps opératoires, du volume prévisible de production et de l'horaire de travail (capacité disponible).
- Personnel : prévoir la circulation sécurisée extérieure du personnel (garage à vélos, parking…) et intérieure ainsi que les locaux sociaux (vestiaires, sanitaires, réunion, cantine...) et techniques (bureaux, affûtage, maintenance, magasin…).
- Énergie : type, puissance et consommation, équipements associés, implantation des différents circuits et leur identification (code couleurs).
- Déchets : types et moyens d'évacuation utilisés. Considérer les réglementations particulières (poussières, vapeurs et gaz nocifs…).
- Facteurs d'ambiance : éclairage, bruits, couleurs, climatisation… Intégrer les recommandations et règlements concernant ces domaines.

11.2.2 Choix du type de process et du modèle de base

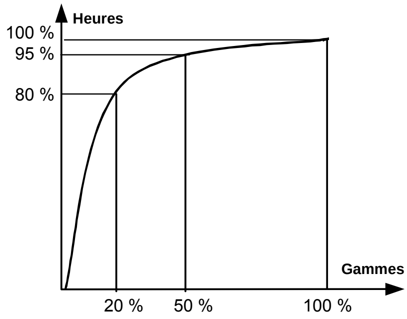
Comme nous l'avons détaillé au paragraphe précédent, le choix du modèle de base est fonction du type de process envisagé (*cf.* § 11.1 pour cette étape).

11.2.3 Regroupement par famille de gammes

Le nombre de gammes dans une société est souvent très élevé. Cependant, toutes n'ont pas la même importance et certaines comportent des similitudes. C'est pourquoi, avant de passer à l'analyse théorique, une classification des gammes est réalisée.

- **Classement des gammes par la méthode ABC**

Avant de procéder à un regroupement par famille, on peut effectuer un classement ABC.



En abscisse figurent les gammes classées par durée décroissante.

En ordonnée figurent les heures cumulées correspondantes.

- **Regroupement par familles**

Pour les gammes des zones « A » et « B » du classement précédent (ou à défaut pour l'ensemble), on recherche les analogies afin de les regrouper par familles. On peut éventuellement utiliser à ce stade la « **TGAO** » (technologie de groupe assistée par ordinateur)et/ou réaliser un tri des diverses gammes en manuel (long avec un risque d'erreurs important) ou informatiquement (sous Excel, par exemple).

Principe :

– **Récapituler les gammes** (à partir des dossiers techniques). La pondération permet de prendre en compte l'importance relative des gammes : le nombre de palettes, la quantité de pièces produites, le volume, la masse sont des exemples (non limitatifs) de facteurs de pondération définis sur une période de temps (mois, année). Le choix est réalisé selon le contexte de l'étude.

Pondération : par exemple le nombre de palettes par mois (par gamme)

Gammes

	10	4	15	6	8	4	9	6	3	5	12	3	5	8	9	3	4	2	5	
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	
A	1	2			1	1	2		1	1		1		1		2		1	1	
B		1	1	1	2		1	1	2		1	2	1		1	1	1	2		
C	2		2	2		2		2		2	2		2	2			2		2	
D	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	
E		5		4			4		4		4					5		4		
F	4	4	5		3	4		4		4		4	4	4	3	4	4		4	
G			4	5				5			5		5				5			
H	5				5	5		6		5				5	4				5	
I		6	6					7				5	6	6	5	6	6			
J			7	6				8		6	6	6	7				7			...

Postes

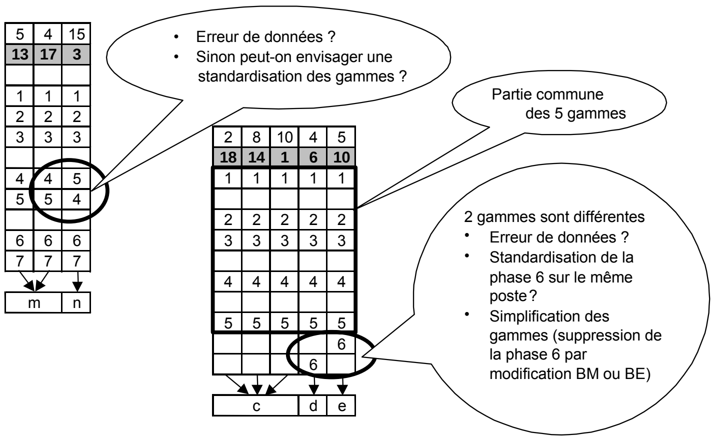
Le chiffre indique le numéro de phase : ici par exemple, le poste J intervient en phase 7 pour la gamme 3

– **Trier les données** à l'aide de l'informatique (un tableur Excel…).

	8	3	3	2	8	10	4	5	5	9	4	3	9	6	12	6	5	4	15
	5	**9**	**12**	**18**	**14**	**1**	**6**	**10**	**19**	**7**	**2**	**16**	**15**	**4**	**11**	**8**	**13**	**17**	**3**
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2							
B	2	2	2						2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C				2	2	2	2	2						2	2	2	2	2	2
D	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3
E	4	4								4	5	5		4	4				
F			4	4	4	4	4	4	3		4	4	3			4	4	4	5
G														5	5	5	5	5	4
H				5	5	5	5	5	5				4			6			
I			5					6			6	6	5			7	6	6	6
J			6				6							6	6	8	7	7	7
	a		b	c			d	e	f	g	h		j	k		l	m		n

Familles de gammes obtenues après tri informatique

– **Analyser les résultats obtenus** (pour diminuer encore, si possible, le nombre de familles).

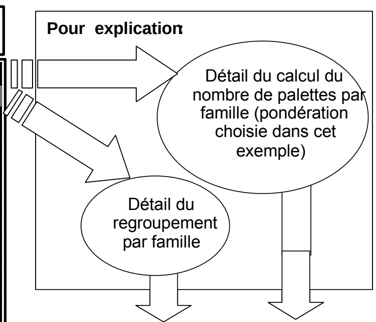


Note : Cette phase d'étude est souvent l'occasion d'éliminer d'anciennes gammes qui ne sont plus utilisées, de standardiser ou de simplifier les processus (méthodes) mais aussi les produits (études).

Résultats :

Familles de gammes obtenues

	11	3	29	5	9	7	9	18	6	24
	a	b	c	f	g	h	j	k	l	m
A	1	1	1	1	2	2				
B	2	2		2	1	1	1	1	1	1
C			2					2	2	2
D	3	3	3	4	3	3	2	3	3	3
E	4				4	5		4		
F		4	4	3		4	3		4	4
G								5	5	5
H			5	5			4		6	
I		5				6	5		7	6
J		6						6	8	7



Familles gammes	Gammes initiales	Pondération (Nbre de palettes)
a	5, 9	8+3 = 11
b	12	= 3
c	18, 14, 1, 6, 10	2+8+10+4+5 = 29
f	19	= 5
g	7	= 9
h	2, 16	4+ 3 = 7
j	15	= 9
k	4, 11	6+12 = 18
l	8	= 6
m	13, 17, 3	5+4+15 = 24

Si l'on considère qu'une standardisation de la gamme 3 est possible et que les gammes 6 et 10 peuvent être simplifiées (2 cas précédents), on obtient 10 familles de gammes (pour 19 initiales).

Remarques :

– Généralement, le travail de mise en famille donne lieu à des remises en cause de processus et/ou de modifications techniques du produit (bureau d'études).

– Si le nombre de familles de gammes obtenues à la fin du processus est suffisamment réduit, alors l'utilisation d'une méthode d'analyse théorique (type chaînons par exemple) n'est pas obligatoire.

– Dans certains secteurs, l'industrie du bois par exemple, une standardisation des assemblages et/ou des quincailleries permet souvent de réduire considérablement le nombre de familles.

– Parfois, on peut définir à ce stade des familles qui se regroupent par îlots de production.

11.2.4 Implantation théorique (méthodes)

	Position fixe	Fonctionnelle	Cellule	Ligne
Barycentre	■		□	
SLP et variantes	■	■	□	
Itérative ou matricielle	■	■	□	
Surfaces	■	■	□	□
Technologie de groupe			■	□
Chaînons			■	□
King, Kuziack, Mc Cormick			■	
G. fictives, BTE			□	■
Birnie				■
Antériorités			□	■
Matricielle en ligne				■
Légende : ■ adapté, □ possible				

11.2.5 Implantation détaillée ou projet final

Cette étape consiste à définir précisément la solution retenue sur plans, en intégrant toute les contraintes d'hygiène et de sécurité. Le paragraphe 11.6 développe cet aspect du projet.

11.3 Méthodes de disposition et de localisation

11.3.1 Méthode des surfaces

Faire un implantation consiste d'une part, à définir les flux de circulation et l'implantation des machines et, d'autre part, à évaluer les surfaces nécessaires par estimation :

– à partir de la surface statique, en ajoutant des surfaces de dégagement,
– à partir de surfaces mesurées autour de machines analogues,
– par calcul, en utilisant la formule de Guerchet.

Données industrielles

– Surface au sol de la machine ou surface statique s_s,
– Surface nécessaire autour du poste ou surface de gravitation s_g. Si l'accès se fait par N côtés, on a :

$$S_g = N.S_s$$

– Surface d'évolution S_e correspondant aux déplacements des exécutants en charge :

$$S_e = (S_s + S_g).K$$

où K est défini selon le type de fabrication et des moyens de manutention.

K = 0.05 à 0.15	Grosses industries
K = 0.1 à 0.25	Chaîne convoyeur
K = idem	Textile filature
K = 0.5 à 1	Tissage
K = 0.75 à 1	Horlogerie
K = 2 à 3	Grosses mécaniques
K = 1.5 à 2	Petites mécaniques

La surface totale est :

$$S_T = S_s + S_g + S_e = S_s(N+1) + S_s(N+1).K$$
$$S_T = S_s(N+1)(K+1)$$

Exemple :

On désire implanter une machine textile contre un mur. Connaissant sa surface au sol (S_s = 1,70m²), il faut calculer la surface totale nécessaire.

Surface de gravitation :

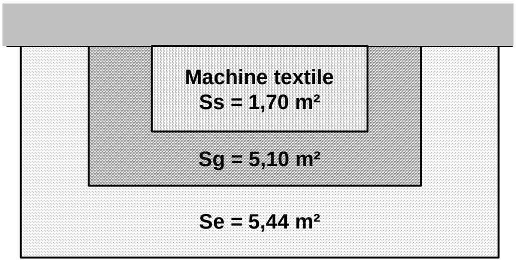
$$S_g = N.S_s = 3.(1{,}70m^2) = 5{,}10\ m^2$$

Surface d'évolution, avec K = 0,8 (matériel textile) :

$$S_e = (S_s + S_g).K = (1{,}70m^2 + 5{,}10m^2).0{,}8$$
$$S_e = 5{,}44m^2$$

Surface totale :

$$S_T = S_s + S_g + S_e = S_s\ (N + 1)(K + 1)$$
$$\mathbf{S_T = 1{,}70 + 5{,}10 + 5{,}44 = 12{,}24\ m^2}$$



11.3.2 Méthode du barycentre

La méthode du barycentre consiste à rechercher le point équidistant d'un ensemble d'éléments déjà positionnés (machines, magasins, services de distribution...), par exemple, lors du positionnement d'un magasin central ou d'un entrepôt principal.

Chaque élément est affecté de coordonnées et d'un poids. Les coordonnées (*Xi ;Yi*) du barycentre sont :

$$Xi = \frac{\sum_{i=1}^{n} Ti.xi}{Ti} \qquad Yi = \frac{\sum_{i=1}^{n} Ti.yi}{Ti}$$

Avec *Ti* = somme des poids (charges, palettes…).

Intérêt de la méthode :

– rapidité de calcul,

– simplicité de mise en œuvre,

– complémentaire à d'autre méthodes…

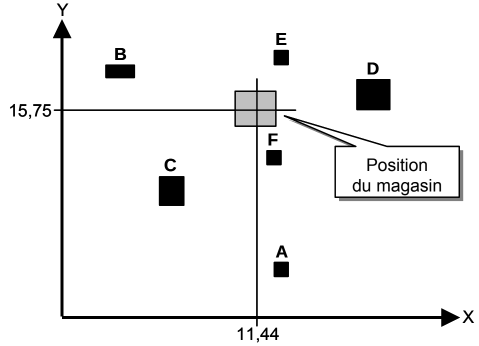
Exemple :

Un atelier de fabrication de textile est composé d'un ensemble de machines de production. Chaque machine est alimentée par un magasin central de matières premières et possède une charge de travail différente. Il s'agit de positionner d'une manière optimale ce magasin central.

Machines	**xi**	**yi**	**Ti**	**Ti.xi**	**Ti.yi**
Piqueuse A	13	3	5	65	15
Piqueuse B	4	22	15	60	330
Ourlet C	7	12	15	105	180
Débit D	19	15	20	380	300
Patron E	15	25	5	75	125
Coupe F	12	14	3	36	42
Somme			**63**	**721**	**992**

Coordonnées du magasin central à implanter :

Xg = 11,44 ; Yg = 15,75



11.3.3 Méthode SLP (*System Layout Planning*)

Le but de la méthode SLP consiste à rapprocher les postes qui ont des proximités fortes (flux de pièces, échanges d'information, déplacements de personnes…) ou de les éloigner pour des raisons diverses (bruit, pollution, nuisance…). Cette approche est de type qualitative et se fait par construction successive. Chaque proximité entre les postes est évaluée selon un niveau d'importance et un motif de justification.

Le degré de proximité et les contraintes sont définis dans un tableau comme le suivant :

		Proximité	Motif	
A	10	Absolument	**1**	Mobilité personnel
E	7	Spécialement importante	**2**	Convenance
I	5	Importante	**3**	Bruit
O	2	Ordinaire	**4**	Lumière
U	0	Sans importance	**5**	Partage d’outillage
X	– 3	Non souhaitable	**6**	Même type d’équipement
			7	Utilisation dossier commun

Note : D’autres auteurs proposent huit motifs et une cotation de proximité différente.

- **Démarche de la méthode**

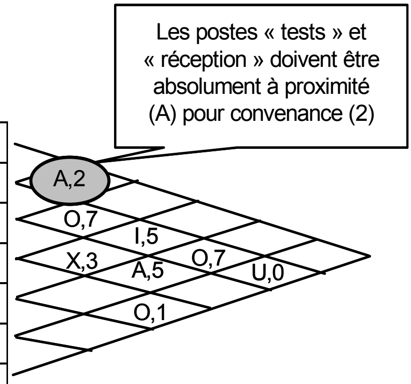
Exemple :

Soit six postes de travail à implanter dans un atelier. Un groupe de travail définit les proximités et les motifs selon la cotation retenue :

– Collecte des données et des informations (différents postes, différents types de proximité).

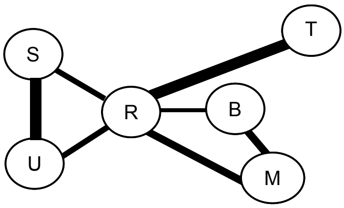
– Construction du diagramme triangulaire à partir des relations et des contraintes.

Postes	Surface	Description
1	40	**T**ests
2	25	**R**éception
3	60	**S**oudage
4	34	**M**étrologie
5	120	**U**sinage
6	19	**B**ureau

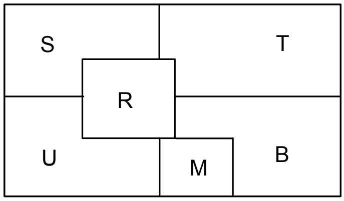


– Optimisation éventuelle du diagramme (permutation de poste).

– Représentation de l'implantation des postes sous la forme d'un réseau théorique.



– Traduction éventuelle du réseau en surfaces d'occupation des postes.



- **Intérêt de la méthode**

– rapidité et facilité d'utilisation,

– en plus des flux, la méthode intègre les proximités et les contraintes,

– le tableau des proximités et des motifs peut être complété ou adapté selon le type d'entreprise.

Note : Certains auteurs quantifient directement les flux dans le diagramme triangulaire (variante de la méthode). Des heuristiques furent développés à partir de cette méthodologie (CORELAP, CRAFT…).

Étant donné le nombre de possibilités d'arrangement (N !), l'idée consiste, à partir d'une implantation existante, à explorer toutes les combinaisons possibles deux à deux entre les postes.

Le nombre de permutations est égal à : N!/[2! (N-2)!]. Par exemple, pour 20 postes, il existe 190 combinaisons.

- **Méthode CORELAP** (*COmputerized RElationship LAyout Planning*)

Un indice de priorité est proposé à chaque local. Le principe est de placer le département ou le local ayant la plus forte priorité au centre de l'implantation. Ensuite, on place le local ayant une proximité de type A et une priorité la plus importante parmi l'ensemble des locaux. Puis on procède par ordre décroissant des proximités (type E, I…). CORELAP ne prend pas en compte les formes imposées. Son intérêt est la rapidité d'exécution.

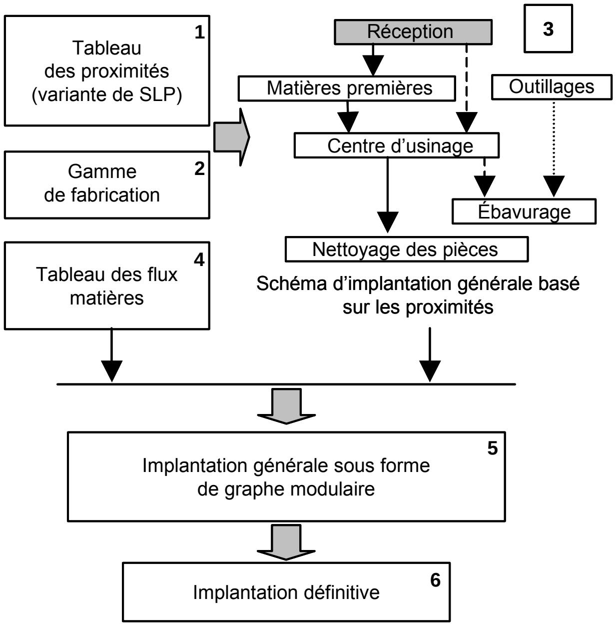
- **Méthode CRAFT**[124] (*Computerized Relation of Facilities*)

Elle a pour objectif de minimiser les coûts de manutention et de transport à l'intérieur de l'usine. Le principe consiste à partir d'une situation admissible (forme de l'usine et ses limites de surface hors tout) à rechercher une solution optimale par permutations successives. D'autres heuristiques existent, DISCON (*Dispersion Concentration Method*), PLOOT (*Plant Layout Optimization Tool*)…

11.3.4 Variante de la méthode SLP

Certains organismes proposent des variantes de la méthode SLP prenant en compte les proximités entre les postes ou les locaux, les flux de matières, de personnel, d'information, les surfaces des locaux ou les ateliers, les aires de stockage, les éléments extérieurs, les systèmes d'alimentation, les risques professionnels, le processus de fabrication…

La démarche globale proposée est généralement la suivante :



124 « A heuristic algorithm and simulation approach to the relative location of facilities », Armour, G.C. and Buffa, E.S. (1963), Management Science, Vol. 9, n° 2.

Étape 1. Les responsables remplissent un tableau de bord à double entrée, donnant les degrés de proximité entre les locaux ou les ateliers à partir d'une pondération entre 5 et 10 niveaux. Une catégorisation des locaux peut être effectuée.

Étape 2. Le processus global de fabrication est pris en compte. La gamme enveloppe[125] est utilisée pour définir la séquence logique des phases du processus. À partir du tableau des proximités et de la gamme enveloppe, un schéma d'implantation générale est proposé.

Étape 3. Le schéma d'implantation générale donne une idée du sens de production ou des flux matières. Il peut être effectué manuellement ou avec l'aide d'un outil logiciel.

Étape 4. Il s'agit, dans cette étape, de quantifier les échanges entre les locaux et les secteurs. Seuls les volumes des flux ou les déplacements de matières sont pris en compte. Le sens des mouvements de matière peut être différencié.

Étape 5. Dans cette étape, on propose une implantation générale sous forme de graphes modulaires. Les formes et les surfaces des locaux et des ateliers ne sont pas pris en compte. Ce graphe peut être complété par les flux d'informations et de personnes entre les ateliers, les locaux ou les postes.

Étape 6. C'est l'implantation finale, selon les surfaces et les contraintes des locaux ou des ateliers. Un schéma d'implantation est affiné à partir d'un processus itératif pour donner une implantation optimale et définitive.

11.3.5 Méthode itérative ou matricielle

Le principe consiste à chiffrer le coût de chaque flux entre les postes, puis de rechercher l'agencement au coût optimal prenant en compte la surface et la géométrie des postes.

---

[125] La gamme enveloppe est la gamme fictive qui recouvre l'ensemble des gammes réelles des produits selon l'ordre séquentiel des opérations des gammes.

En permutant deux à deux les postes, on cherche à minimiser le coût total des flux :

$$Ct = \min \sum_{i}^{n} \sum_{j}^{n} I_{ij} L_{ij} C_{ij}$$

où :

i et j, postes amonts et avals,

n, nombre de postes,

I_{ij}, nombre de charge unitaires à transporter de i vers j ou indice de charge,

C_{ij}, coût du transport d'une charge unitaire par unité de distance entre i et j,

L_{ij}, distance entre i et j.

Exemple :

Soit cinq locaux de travail (A, B, C, D et E) ayant des échanges de flux et des coût de transport représentés selon la matrice suivante (étape 1).

- **Étape 1 : recueil des flux (intensités et coût unitaires)**

Intensité x Coût : 13 x 3 = 39

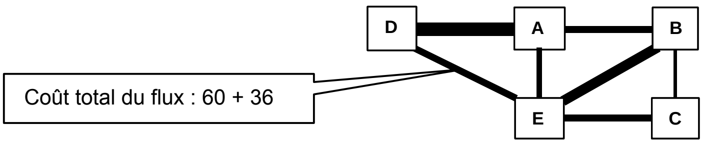
	A	B	C	D	E
A		**13/3**		25/3	13/3
B	12/2		5/5		40/3
C		7/4			20/2
D	19/10				30/2
E	9/2	8/3	8/3	12/3	

- **Étape 2 : coût total de chaque liaison (regroupement par lien)**

13 x 3 + 12 x 2 = 63

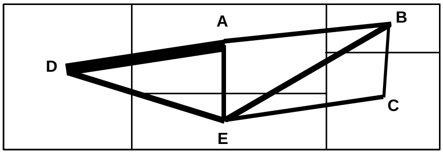
	A	B	C	D	E
A		63		265	57
B			53		144
C					64
D					96
E					

- **Étape 3 : mise en réseau des postes de travail**

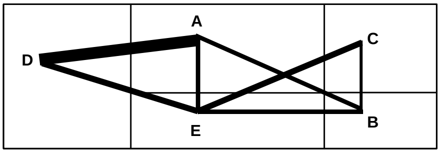


- **Étape 4 : disposition des locaux entre eux, intégrant le coût des distances entre les postes**

Solution 1



Solution 2 (inversion des locaux B et C)



D'autres solutions existent. Par exemple, on peut tenir compte de contraintes non quantifiables : ouvertures, nuisances…

- **Résultats**

Les distances entre les postes sont mesurées sur le plan, soit en ligne droite, soit en trajets horizontaux-verticaux, soit en tenant compte des trajets réels (allées, ouvertures).

Liens	$C.I_{1/2}$	L_1	L_2	S_1	**S_2**
D-A	265	28	28	7.420	7.420
D-E	96	29	29	2.784	2.784
A-E	57	15	15	0.855	0.855
E-C	64	29	28	1.856	1.792
C-B	53	13	13	0.689	0.689
E-B	144	34	29	4.896	4.176
A-B	63	30	32	1.890	2.016
			Totaux	20.39 k€	**19.73 k€**

Remarques :

– La solution S_2 est moins coûteuse que la solution S_1, soit 3 % de gain.
– Il s'agit de trouver la solution la moins coûteuse parmi toutes les solutions potentielles.

11.4 Méthodes orientées « îlots »

11.4.1 Technologie de groupe

La technologie de groupe également nommée groupements analogiques est une technique qui consiste à regrouper les pièces par familles suivant des critères morpho-dimensionnels ou de gammes semblables.

- **Son intérêt**

L'étude et la réalisation de produits variés conduisent souvent les entreprises à créer de multiples références de pièces aux caractéristiques similaires. Certaines, aux formes très proches, pourraient, avec quelques modifications, assurer des fonctions identiques, d'autres suivre des processus de réalisation semblables.

La technologie de groupe est un bon outil pour rationaliser les produits et ordonner la production des pièces aux différents stades de leur réalisation. Elle est largement facilitée par l'utilisation de systèmes informatiques de gestion de bases de données techniques.

- **Entreprises concernées**

Celles qui ont la maîtrise de la conception, qui produisent une grande diversité d'objets, qui fabriquent des produits interdépendants (la plupart des entreprises industrielles).

- **Services concernées**

Niveau	Objectifs	Critères	Moyens	Résultats
Bureau d'études	Limiter la création de pièces semblables. Standardiser	Formes Dimensions Fonctions	Archives Classification Codification	Limiter le nombre de dessins. Réduire les coûts d'étude.
Bureau des méthodes	Créer des gammes types. Standardiser les processus	Formes Dimensions Processus États de surface	Archives de gammes, de processus	Limiter le nombre de gammes. Réduire les coûts de préparation et les délais.

Niveau	Objectifs	Critères	Moyens	Résultats
Fabrication	Implanter des cellules ou des îlots de fabrication	Morphologie d'opération	Analyse des produits grâce à la codification	Meilleure utilisation des moyens
Ordonnancement Lancement	Regrouper des pièces analogues			Augmentation de la productivité
Approvisionnement	Limiter le nombre d'articles à acheter	Matières Dimensions Fonctions	Codification matière et pièces appro.	Meilleure gestion des approvisionnements
Commercial	Chiffrer rapidement un devis	Similitude de gammes	Fiche de chiffrage rapide	Répondre rapidement aux devis en réduisant les coûts

11.4.2 Méthode des chaînons

Son but essentiel est la recherche de la position relative de machines en fonction des plus courts chemins (optimiser Σ_{ij} I_{ij}), principalement là où le trafic est important.

- **Terminologie**

– Chaînon : chemin emprunté par une ou plusieurs pièces entre deux postes.

– Liaison : trafic caractérisant l'écoulement de la production entre les postes.

– Nœud : poste de travail.

– Indice de circulation : représente la proportion de chacune des pièces usinées.

- **Exemple de principe**

Une entreprise désire implanter un îlot de fabrication sérielle de lits pour les familles de pièces suivantes :

– les pieds (P) : 2000/mois,

– les traverses hautes (TH) : 1000/mois,

– les traverses basses (TB) : 1000/mois,

– les traverses longues (TL) : 1000/mois.

Ces quantités mensuelles donnent la pondération du tableau (2 ;1 ;1 ;1).

Neuf postes de travail interviennent dans les familles de gammes repérés de A à I.

2	1	1	1
P	**TH**	**TB**	**TL**
A	A	A	A
B	B	B	B
C	C	C	C
E	D	D	D
G	E	F	E
H	F	I	F
I	I		G
			H
			I

Les différents indices de circulation, le nombre de chaînons et le nombre de liaisons sont disposés sur **la table des chaînons**[126].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
I						**		***	2/5
H							***	2/6	
G					**	*	3/6		
F				*	**	4/6			
E			**	**	4/8				
D			***	3/6					
C		*** **	3/10						
B	*** **	2/10							
A	1/6								

Légende :
Nombre de chaînons / Nombre de liaisons

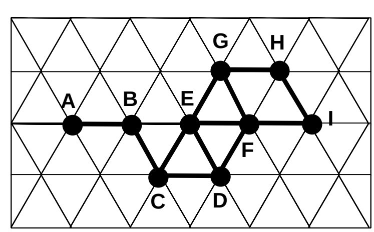
Explications sur le remplissage de la table (poste E)

– Nombre de chaînons = 4, égal à la somme des cases horizontales et verticales remplies (couleur grise).

– Nombre de liaisons = 8, égal à la somme des croix dans les cases horizontales et verticales remplies (couleur grise).

– L'indice de circulation est noté par [*]. On parcourt les gammes successivement et on pointe au fur et à mesure dans les cases les chaînons rencontrés (tenir compte de la pondération).

Recherche de la disposition des postes



Elle se fait le plus souvent sur un canevas à mailles triangulaires (triangle équilatéral). On recherche prioritairement une disposition évitant des chaînons « hors maille » (en dehors des côtés de triangle du canevas). Si cela est impossible, cette situation est réservée à des chaînons de faible trafic.

[126] Un tracé circulaire (non présenté dans cet ouvrage) peut remplacer cette table

- **Variante de matrice**

Un tableau complet permet d’améliorer la table des chaînons en intégrant le sens de trafic. Pour le remplir, on applique la règle suivante : les postes placés en ordonnée envoient aux postes en abscisse.

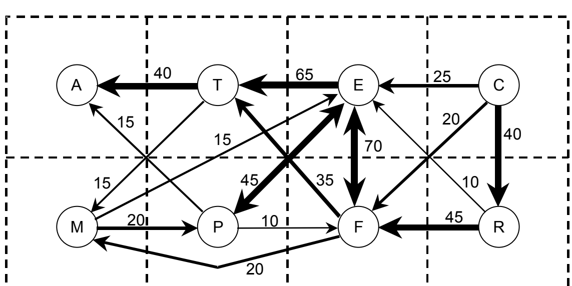
	A	T	F	P	E	M	R	C
C			20		25		10 30	**85** / **3**
R			30 15		10		**95** / **3**	
M				20	15	**35** / **2**		
E		65	25	25	**165** / **6**			
P	15		10	**90** / **5**	20			
F		35	**200** / **7**		45	20		
T	40	**155** / **4**				15		
A	**55** / **2**							

Ainsi on visualise les sens de trafic par les cases utilisées sous la diagonale indiquant un retour en arrière.

Cette variante est très intéressante lors d’emploi d’éléments transitiques mécanisés (par exemple : rouleaux, tapis, convoyeurs…).

Dans cet exemple, des chiffres (au lieu des croix précédemment)) indiquent l’importance du trafic par chaînon (ici un nombre de palettes par mois).

- **Variante de canevas**



Le poste est placé au centre du carré. Dans certains cas, l'utilisation de ce type de canevas peut faciliter le passage à l'implantation réelle (selon la forme du bâtiment envisagé). Les flux sont représentés avec différentes épaisseurs de traits selon leur importance (facteur de pondération).

11.4.3 Méthodes de constitution des cellules

Connaissant les gammes opératoires de produits, l'objectif des méthodes est de partitionner l'ensemble des machines d'un atelier en sous-ensembles (machines, produits) ou îlots. Ces machines sont suffisantes pour assurer l'ensemble des opérations de transformation du produit. L'ordre dans la gamme n'intervient pas. Les sous-ensembles sont appelés cellules de fabrication.

Un problème de constitution de cellules s'exprime sous forme d'un problème d'optimisation combinatoire sous contraintes. Si les critères sont d'ordre qualitatif, des méthodes de partitionnement heuristiques sont utilisées, faisant intervenir l'intelligence artificielle.

- **Méthode GPM (classification croisée)**

Cette méthode a été développée par Garcia et Proth. On considère une matrice A à n lignes (produit P_i) et m colonnes (postes M_m).

La méthode GPM cherche à modifier l'ordre des lignes et des colonnes de A de façon à faire apparaître des blocs disjoints correspondant à différentes familles k, tels que la fonction F_k soit minimale :

$$F_k = \Sigma m_{ij} + \Sigma(1- m_{ij})$$

Avec :

Σm_{ij}, le poste j ou le produit m $\in$ à la famille F_k ou l'îlot I_k.

$\Sigma(1-m_{ij})$, le poste j ou le produit m $\notin$ à la famille F_k ou l'îlot I_k.

Au départ, on définit un ensemble de familles de produits et d'îlots, ce qui influence le résultat obtenu du partitionnement.

- **Méthode de Kuziack**[127]

Une matrice est construite représentant en lignes les produits et en colonnes les postes.

Principe :

À partir de la première ligne, on recherche les postes attachés à cette ligne. Puis, à partir de ces postes, on recherche les produits attachés et ainsi de suite. On arrête lorsque la ligne ne comporte plus d'éléments.

---

[127]. *Cf.* l'ouvrage *Gestion de production*, A. Courtois, C. Martin-Bonnefous et M. Pillet, Éditions d'Organisation.

On ne prend dans un îlot que les pièces qui ont au moins 50 % des machines rattachées à celui-ci.

Exemple :

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
P1		1	1	1		
P2	1		1			1
P3			1	1	1	1
P4	1					
P5		1	1		1	
P6		1	1	1		

Partitionnement en cellules

	M2	M4	M3	M5	M1	M6
P1	1	1	1			
P5	1		1	1		
P6	1	1	1			
P3		1	1	1		1
P2			1		1	1
P4					1	

Les machines M3 et M6 devront être dédoublées ou les gammes des produits P3 et P2 devront être repensées pour obtenir deux îlots distincts.

- **Méthode de King**[128]

Exemple de principe : à partir d'une matrice (7 produits x 7 machines), on affecte un poids à la puissance 2 à chacune des pièces et des machines par ordre décroissant. La méthode se décompose en deux étapes, répétée jusqu'à l'obtention des îlots.

Étape 1. Calculer les poids totaux de chaque machine puis les ordonner par ordre décroissant. Pour la machine M5 par exemple, on a $2^3+2^1=10$. Le principe est appliqué de manière identique pour toutes les machines, puis on les classe par ordre décroissant.

128. *Cf.* l'ouvrage *Gestion de production, op. cit.*

		M1	M2	M3	M4	M5	M6
2^5	P1		1	1	1		
2^4	P2	1		1			1
2^3	P3			1	1	1	1
2^2	P4	1					
2^1	P5		1	1		1	
2^0	P6		1	1	1		
		2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
Poids totaux		20	35	59	41	10	24
Ordre machines		5	3	1	2	6	4

Étape 2. Faire de même que l'étape 1, mais pour les produits, puis ordonner par ordre décroissant les lignes.

		M3	M4	M2	M6	M1	M5	Poids totaux	Ordre pièces
2^5	P1	1	1	1				56	1
2^4	P2	1			1	1		38	5
2^3	P3	1	1		1		1	53	3
2^2	P4					1		2	6
2^1	P5	1		1			1	41	4
2^0	P6	1	1	1				56	1
		2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0		
Poids totaux		59	41	35	24	20	10		
Ordre machines		1	2	3	4	5	6		

Étape 3. Mettre en îlots, puis répéter les étapes 1 et 2 si nécessaire pour optimiser le résultat.

		M3	M4	M2	M6	M1	M5	Poids totaux	Ordre pièces
2^5	P1	1	1	1				56	1
2^4	P6	1	1	1				56	2
2^3	P3	1	1		1		1	53	3
2^2	P5	1		1			1	41	4
2^1	P2	1			1	1		38	5
2^0	P4					1		2	6
		2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0		
Poids totaux		62	56	52	10	3	12		
Ordre machines		1	2	3	4	5	6		

Étape 4. Répéter les étapes 1 et 2 si nécessaire pour optimiser le résultat.

		M3	M4	M2	M5	M6	M1	Poids totaux	Ordre pièces
2^5	P1	1	1	1				56	1
2^4	P6	1	1	1				56	2
2^3	P3	1	1		1	1		54	3
2^2	P5	1		1	1			44	4
2^1	P2	1				1	1	35	5
2^0	P4						1	1	6
		2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0		
Poids totaux		62	56	52	12	10	3		
Ordre machines		1	2	3	4	5	6		

Les machines M3 et M6 devront être dédoublées ou les gammes des produits P3 et P2 devront être repensées.

Note : On retrouve dans cet exemple les mêmes îlots (que dans la méthode de Kuziack), ce qui n'est pas toujours le cas.

11.5 Méthodes orientées « lignes »

11.5.1 Gammes fictives

La méthodologie peut se décomposer en trois points :

– Détermination des niveaux d'intervention.

– Regroupement des niveaux d'intervention par poste.

– Établissement du schéma théorique.

- **Détermination des niveaux d'intervention**

On appelle niveau d'intervention le rang que prend le poste dans la succession des opérations.

Avec les données de l'exemple utilisé pour la méthode des chaînons et la même pondération[129] (*cf.* § 11.4.2), les niveaux d'interventions sont les suivants.

[129] D'autres facteurs de pondération pourraient être utilisés, par exemple le nombre d'heures.

		Niveaux d'intervention								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Familles de gammes	**P (2)**	A	B	C	E	G	H	I		
	TH (1)	A	B	C	D	E	F	I		
	TB (1)	A	B	C	D	F	I			
	TL (1)	A	B	C	D	E	F	G	H	I

- **Regroupement des niveaux d'intervention par poste**

À partir du tableau précédent, voici l'explication pour le poste G : il intervient 1 fois en niveau 5 pour P et 1 fois en niveau 7 pour TL (cases grisées dans le tableau précédent).

Compte tenu de la pondération, le résultat sera de 2 en niveau 5 (coefficient 2 gamme P) et de 1 en niveau 7 (coefficient 1 gamme TL), cases encadrées dans le tableau ci-dessous.

		Niveaux d'intervention								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Postes	A	5								
	B		5							
	C			5						
	D				3					
	E				2	2				
	F					1	2			
	G					2		1		
	H						2		1	
	I						1	3		1

- **Établissement du schéma théorique**

À partir des résultats précédents, nous recherchons la meilleure disposition des postes en appliquant les règles suivantes :

– La place d'un poste est déterminée par son niveau d'intervention.

– Si un poste intervient à plusieurs niveaux, sa place se situe au niveau d'intervention le plus important.

– Si un poste intervient avec une importance égale à plusieurs niveaux, sa place se situe à une moyenne parmi ces niveaux.

Sept zones d'implantation se dégagent ainsi :

Zone 1	**Zone 2**	**Zone 3**	**Zone 4**	**Zone 5**	**Zone 6**	**Zone 7**
A	B	C	D	G	F	I
			E ◄	► E	H	

Remarque : Il est possible, à ce stade, de calculer le nombre de postes nécessaires face à un programme de production prévisionnel. Si à l'issue du calcul plusieurs postes identiques apparaissent, ils peuvent être positionnés sur différentes zones.

11.5.2 Rangs moyens (parfois nommée BTE)

Il s'agit d'une variante des gammes fictives, le terme « rang » remplace le terme « niveau d'intervention ». Le rang moyen est calculé par poste, généralement sans pondération (non traité mais possible toutefois).

		Postes de travail								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Familles de gammes	**P**	1	2	3		4		5	6	7
	TH	1	2	3	4	5	6			7
	TB	1	2	3	4		5			6
	TL	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Total des rangs		4	8	12	12	14	17	12	16	29
Nombre de rangs		4	4	4	3	3	3	2	2	4
Rang moyen		1	2	3	4	4,6	5,6	6	8	7,2

Le tableau est ensuite trié par ordre croissant de rang moyen. L'ordre théorique des postes est : A, B, C, D, E, F, G, H, I.

11.5.3 Méthode des antériorités

La méthode des antériorités permet de nombreuses applications : définir les gammes de fabrication, l'implantation d'atelier, l'ordonnancement de tâches (PERT)… L'utilisation d'une matrice des antériorités[130] permet de déterminer la position des postes de travail dans la fabrication, de manière à éviter les retours en arrière.

Méthodologie

À partir de l'exemple type du paragraphe 11.4.2 :

– Remplir la matrice des antériorités.

Après le poste « y »

Le poste « x » intervient…

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A									
B	X								
C		X							
D			X						
E			X	X					
F				X	X				
G					X	X			
H							X		
I						X		X	

Recenser l'ordre de passage des pièces sur les différents postes.

Dans l'exemple, pour la famille P, le poste B intervient après le poste A : la case intersection ligne B et colonne A est donc cochée.

De même pour tous les postes de chaque famille de gammes.

– Exploiter la matrice.

Le poste A n'a aucune antériorité, il peut être positionné en premier. Si d'autres postes étaient dans le même cas ils se placeraient aussi en début de ligne (en parallèle). Un tableau complémentaire est souvent utilisé pour faciliter l'exploitation, comme le tableau suivant.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A									
B	X								
C		X							
D			X						
E			X	X					
F				X	X				
G					X	X			
H							X		
I						X		X	

Niveaux								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0								
1	0							
1	1	0						
1	1	1	0					
2	2	2	1	0				
2	2	2	2	1	0			
2	2	2	2	2	1	0		
1	1	1	1	1	1	1	0	
2	2	2	2	2	2	1	1	0

---

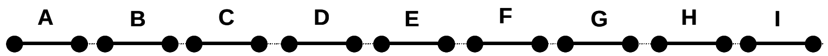
[130] Certains auteurs remplacent la matrice par une série de tableaux.

Le niveau 1 correspond à la situation de départ, pas d'antériorité pour A, et une ou plus pour les autres. Le poste A est donc positionné en premier. On « élimine » les antériorités de ce poste en traçant un trait vertical dans la colonne correspondante.

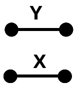
On passe au niveau 2 : le poste B n'a plus d'antériorité, il passe à 0 alors que les autres ne changent pas. Le poste B se place à la suite du A, on trace un trait vertical sur la colonne B.

L'exploitation se poursuit ainsi niveau par niveau.

Le résultat d'exploitation de la matrice (donnant l'implantation théorique des postes) est donc le suivant :



L'implantation théorique se construit simultanément avec l'exploitation de la matrice.



Des postes sans antériorité à un même niveau se placent en parallèle (exemple: X et Y ci-contre) ou s'il existe une «boucle» (X antériorité de Y et Y antériorité de X). Le placement est forcé dans ce cas.

11.5.4 Méthode matricielle en ligne (variante PERT)

Le but cette approche matricielle est de disposer un ensemble de postes selon un axe de travail (ligne de production) en limitant les « retours en arrière ». Cette méthode ne tient pas compte des intensités de trafic entre les postes, mais uniquement des liens entre eux.

- **Données nécessaires**

– La liste des postes de travail à implanter.

– Les différentes gammes opératoires des produits.

- **Mode opératoire**

– Remplir la matrice en plaçant en lignes et colonnes les postes de travail.

– À partir des gammes, les liaisons inter-poste sont représentées par une croix placée au niveau des intersections ligne-colonne (principe identique à la méthode des antériorités).

– Rechercher les colonnes n'ayant aucune croix (aucune opération antérieure avant ce poste). On place le ou les postes en premier.

– Barrer la ou les lignes correspondantes, puis on continue.

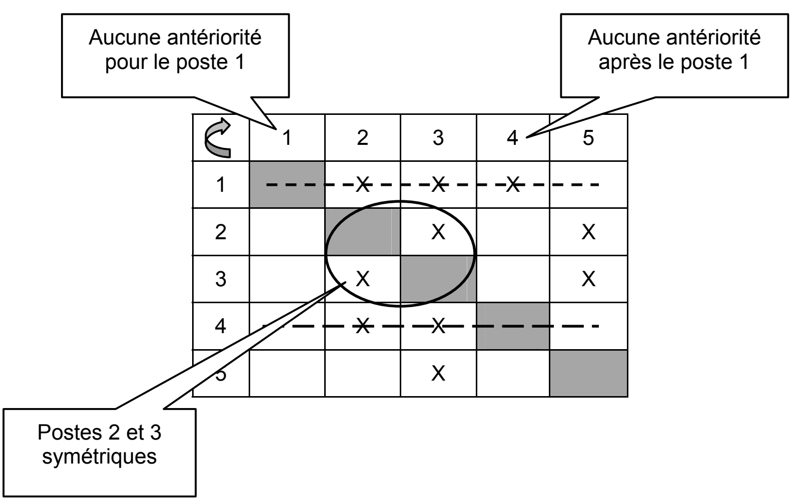
– Si aucune colonne n'est vide, prendre la ou les colonnes ayant le nombre de croix moindre. Si deux colonnes présentent des postes symétriques, alors placer les postes en parallèle.

- **Exemple**

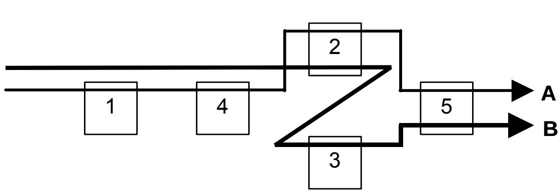
Soit 5 postes à implanter (1 à 5) et 6 références (A à G) d'une famille de produits, comme suit.

Produits	**Gammes opératoires**
A	1-4-2-5
B	2-3-5
C	1-2-3
D	1-4-2-3-5
E	1-3-2-5
G	2-5-3

Matrice des gammes de produits



Implantation des postes



11.5.5 Équilibrage des lignes de production et nombre de postes

Dans le cas de la production en grande série, l'implantation se fait en ligne de fabrication. La pièce passe devant tous les postes où elle subit une ou plusieurs opérations (séquentiellement ou en temps masqué, manuelles ou automatisées). L'objectif de l'implantation est de choisir et de regrouper les opérations par poste de travail afin de satisfaire à la fois les contraintes d'antériorité, la réponse à la cadence et l'utilisation maximale des postes de travail. Dans ce contexte, le recours à « l'équilibrage de postes » est nécessaire. Cette méthode répondant simultanément à des objectifs techniques, logistiques et économiques.

On pose :

- le nombre de pièces N à fabriquer par unité de temps T (période) sur la chaîne de production (cadence de production),
- la gamme opératoire des différentes opérations ou activités,
- les durées de chaque opération t_i.

On calcule :

- la durée de cycle DC par pièce , appelée temps disponible maximum par poste pour répondre à la cadence, DC = T/N,
- le temps total de fabrication des opérations ou activités, $T_t = \Sigma t_i$,
- le nombre théorique de postes minimum, $n_{théorique}$ = arrondi.sup (Σt_i /DC).

On détermine :

- l'implantation des postes en les regroupant d'une manière optimale, le nombre réel de $n_{pratique}$,
- le temps de cycle réel, égal au temps du poste le plus long t_p,
- l'efficacité, $Eff_E = \Sigma t_i / t_p . n_{pratique}$,
- la perte d'équilibrage, $P_{eq} = [(n_{pratique} . t_p) - \Sigma t_i] / (n_{pratique} . t_p)$.

- **Méthode d'Helgeson et Birnie**

- construction d'un graphe d'antériorité
- établissement de la matrice d'antériorité en indiquant les temps opératoires sur la diagonale et en reportant tous les temps antérieurs sur la ligne associée à chaque opération,
- calcul des coefficients de position par opération,
- classement des opérations selon l'indice de position,

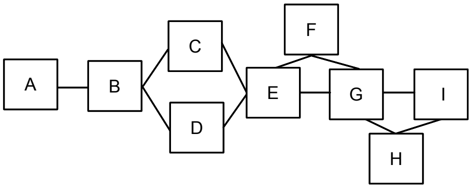
– détermination du temps de cycle théorique et du nombre minimal de poste,
– affectation des opérations aux différents postes par regroupement en commençant par le dernier poste,
– calcul du temps de cycle et de la perte d ’équilibrage.

Exemple :

Supposons un produit suivant un chaîne de production composée de 9 opérations. La chaîne travaille 8 heures par jour et on désire obtenir 500 unités par jour. Équilibrer la chaîne en proposant un nombre minimal de postes. Calculer le taux d’efficacité de la chaîne.

Temps de fabrication des opérations

A	0.15	D	0.13	G	0.17
B	0.32	E	0.51	H	0.30
C	0.25	F	0.34	I	0.23



Résultats :

– Durée de cycle théorique, DC = 8 h.60/500 = 0.96 mn/unité.
– Durée de production, $T_t = \Sigma t_i = 2.40$ mn, se reporter au tableau suivant :

Op*	A	B	C	D	E	F	G	H	I	TC*
A	0.15									0.15
B	0.15	0.32								0.47
C	0.15	0.32	0.25							0.72
D	0.15	0.32		0.13						0.6
E	0.15	0.32	0.25	0.13	0.51					1.36
F	0.15	0.32	0.25	0.13	0.51	0.34				1.7
G	0.15	0.32	0.25	0.13	0.51	0.34	0.17			1.87
H	0.15	0.32	0.25	0.13	0.51	0.34	0.17	0.3		2.17
I	0.15	0.32	0.25	0.13	0.51	0.34	0.17	0.3	0.23	2.40

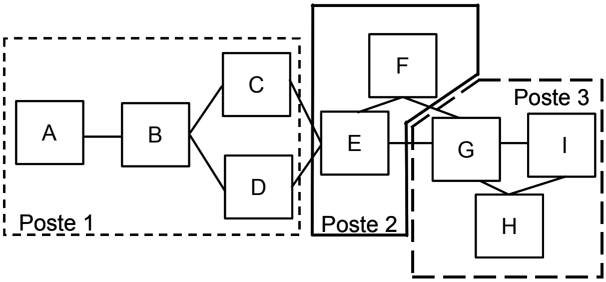
* Op : opérations, TC : temps cumulé.

– Nombre de postes théorique, $n_{théorique}$ = 2.40/0.96 = 2.92 postes soit $n_{pratique}$ = 3.
– Regroupement des opérations pour obtenir 3 postes en ayant 0.80 mn de temps cycle théorique moyen.
– Durée de cycle réel : 0.85 mn, se reporter au tableau suivant :

Postes	Opérations	Durée	TC	Temps restant
3	I	0.23	**0.70**	0.15
	H	0.30	0.47	0.38
	G	0.17	0.17	0.68
2	F	0.34	**0.85**	0
	E	0.51	0.51	0.34
1	D	0.13	**0.85**	0
	C	0.25	0.72	0.13
	B	0.32	0.47	0.38
	A	0.15	0.15	0.70

– Efficacité, $Eff_E = n_{théorique}/n_{pratique}$ = (2.92/3).100, ou Σt_i /DC.3 = (2.40/0.85.3).100 = 94%.

L'implantation des trois postes de travail est représenté selon la figure suivante :



11.6 Implantation détaillée ou projet final

Après avoir déterminé l'implantation théorique, il reste à définir les avant-projets d'implantation détaillée pour décider du projet définitif à réaliser. Cela suppose de prendre en compte :

– La situation géographique et les plans de situation des espaces, locaux ou zones de travail (contraintes dimensionnelles, fonctionnelles, électriques, eau, gaz...).
– Les réglementations concernant l'hygiène et la sécurité au travail.

– Les flux optimisés des flux de pièces représentatives (gammes de fabrication, postes de travail, trajectoires et distances à parcourir...).
– L'élimination des tâches sans valeur ajoutée : rangement, regroupement, transfert... Des études d'analyse de déroulement ou de gaspillages peuvent être envisagées.
– La configuration des postes de travail (type de machines automatisées, polyvalentes, spécifiques, outillages, engins de manutention, analyse des charges réelles, temps d'utilisation ou d'ouverture).
– La compétences des opérateurs. Les tâches deviennent de plus de en plus polyvalentes et spécialisées (nouvelles technologies). La mise à niveau des savoir-faire est perpétuelle.

Par conséquent cette étape consiste à définir, précisément sur plan, la disposition des moyens en intégrant les éléments précédents, mais aussi et surtout en utilisant un management adapté facilitant l'adhésion des hommes.

11.6.1 Management du projet

À quoi servirait une implantation « idéale » si elle n'était pas acceptée par le personnel (en partie parce que celui-ci peut se sentir exclu du projet) ? Il est important de favoriser à ce stade la communication avec tous les acteurs.

Le plus souvent, les maquettes des avant-projets sont présentées au personnel afin de recueillir les critiques et les idées susceptibles de favoriser un consensus. Le recours à un mode de management participatif avec un groupe de travail pluridisciplinaire est couramment employé.

Il peut résulter de cette réflexion de groupe :

– une évolution du mode de management de l'atelier (équipes autonomes, gestionnaire d'îlots…),
– l'évolution des compétences et des responsabilités (5S, TPM, 6 sigma…) impliquant la mise en place de formations spécifiques,
– Une évolution des avant-projets favorisant l'élaboration d'un projet définitif consensuel.

À ce stade de l'étude, il sera largement fait appel aux méthodes et outils de la gestion de projet[131].

---

[131] *Cf.* Chapitre 4.

11.6.2 Supports utilisés

Pour les avant-projets (supports de discussion du groupe de travail), des plans détaillés préciseront la disposition des moyens dans le bâtiment ainsi que les allées, les convoyeurs, les aires de stockage et en-cours. La représentation des flux par famille de gamme (utilisation de la couleur et de l’épaisseur du trait) facilite la visualisation des circuits matières et la comparaison des avant-projets.

Des maquettes (sur papier métallisé, carton, calques…) sont parfois utilisées pour faciliter l’échange d’idées dans le groupe de travail. Pour le projet définitif, les plans sont complétés par :

- les réseaux de distribution (eau, électricité, air comprimé, gaz, chauffage…),
- les systèmes de manutention (ponts roulants, palans, portique, transpalette, chariot élévateur, palettiseur…),
- les systèmes d’évacuation de déchets (copeaux, vapeurs, gaz toxiques, consommables …),
- les éléments spécifiques au poste (table élévatrice, fosse, automatisme, armoire de commandes …),
- les dispositifs d’éclairage
- les voies d’accès et aires de transbordement,
- …

11.6.3 Outils d’aide informatique

Un large panel de logiciels de dessin assisté par ordinateur (DAO) permet la réalisation des plans. Certains offrent même la possibilité de visualiser en trois dimensions l’atelier. Par exemple :

- Factorycad commercialisé par UGS,
- Automod commercialisé par Simcore.

Des logiciels spécifiques combinent la recherche de solutions théoriques et la disposition des postes sur un plan (maquette 2D). Par exemple : le logiciel Impact commercialisé par la société Knowllence (méthodes des rangs moyens, chaînons, antériorités, King).

Une analyse plus fine de l’implantation détaillée peut être réalisée grâce à des logiciels de simulation de flux permettant de passer d’une situation statique à une simulation dynamique du fonctionnement de l’atelier.

Cette phase permet de vérifier et de valider les hypothèses de travail et minimise les risques de dysfonctionnement. A titre d'exemple, citons :

- Factoryflow commercialisé par UGS.
- Simul8 commercialisé par Simcore sarl.
- Process commercialisé par Le Bihan.
- Extend commercialisé par 1point2.
- Arena commercialisé par Segula.

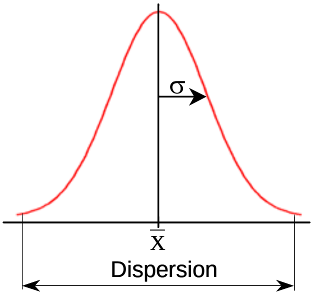
12
La maîtrise du système

12.1 La dispersion en production

L'allure d'une production sérielle de pièces sur une machine (en l'absence de déréglage) suit généralement une loi normale (nommée aussi loi de Gauss ou Laplace-Gauss), caractérisée par :

- une moyenne « $\overline{X}$ » (moyenne arithmétique de toutes les valeurs enregistrées),
- un écart type « σ », traduit la variabilité autour de la moyenne (distance entre le point d'inflexion de la courbe et la moyenne).

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{(X_i - \overline{X})}{n}}$$



Il convient de vérifier par un **test de normalité** graphique (**test de la droite de Henry**) ou analytique (**test du Khi Deux,** par exemple) si la distribution étudiée peut être assimilée à une loi normale. Ces tests mathématiques ne sont pas détaillés dans cet ouvrage.

La suite de ce chapitre se situe dans le contexte d'appartenance à une loi normale (majorité des cas). Pour les situations marginales, le lecteur est invité à consulter des ouvrages plus détaillés sur le sujet et à choisir une loi mathématique adaptée.

12.1.1 Dispersion globale et instantanée

Le film d'une production (observations des pièces durant une période) peut se représenter par le graphique suivant (figure 12.1) :

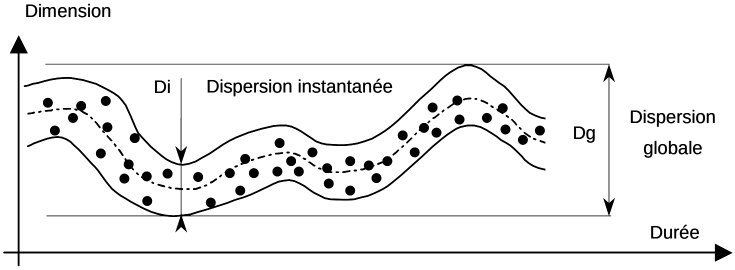


Figure 12.1 Film d'une production

Suivant la période d'observation retenue, deux types de dispersion apparaissent :

– La **dispersion instantanée** (Di) qui résulte d'une observation sur un court instant et dont l'origine est essentiellement imputable à la machine.

– La **dispersion globale** (Dg) qui résulte d'une période d'observation beaucoup plus longue et évalue le procédé dans son ensemble, en intégrant, en plus de la machine, l'incidence de son environnement immédiat : main-d'œuvre, matière, méthodes et milieu (« 5M » du procédé).

12.1.2 Évaluation de la dispersion

Dans le cas d'une loi normale, 99,73 % de la population est comprise dans un intervalle de six fois l'écart type ($\pm 3\ \sigma$), c'est la valeur la plus utilisée en pratique pour calculer une dispersion. Certains utilisent ($\pm 3{,}09\ \sigma$) correspondant à 99,8 % de la population. Il reste toutefois à déterminer σ donnant lieu aux trois approches suivantes :

- **Évaluation de la dispersion d'une population**

Ce cas est peu courant mais existe lorsque toutes les pièces produites sont contrôlées systématiquement (cas de pièces de haute sécurité et/ou de contrôle automatisé). Dispersion globale = **6 . σ** (99,73 %) ou **6,18 . σ** (99,8 %).

- **Estimation ponctuelle de la dispersion d'une population à partir d'un échantillon**

On prélève un échantillon ≥ à 50 pièces consécutives et sans réglage sur une production stabilisée, généralement en cours de journée (éviter les débuts et fins de périodes). Ce cas correspond à une « production rapide » (peu de temps pour produire l'échantillon).

On estime l'écart type de la population par : $$S = \sigma_{(n-1)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{(X_i - \overline{X})}{n-1}}$$

Dispersion instantanée = **6 . S** ou **6,18 . S** (selon le % de population désiré).

Remarque importante : si la taille de l'échantillon est inférieur à 50 pièces, il faut utiliser la **loi de Student** (et la table des fractiles) pour estimer la valeur de S. Cela permet de compenser la faible taille de l'échantillon pour estimer correctement l'écart type de la population. La formule de calcul de la dispersion instantanée demeure inchangée.

- **Estimation de la dispersion d'une population à partir d'échantillons successifs de taille réduite**

Ce cas correspond à une « production lente » (cadence faible de production) ou à une situation de mise sous contrôle du procédé en utilisant des cartes de contrôle. Une succession de petits échantillons (3 à 5 pièces) est prélevé durant la période de production.

La norme NF X 06-031-1 propose le mode de calcul suivant :

Pendant une période dite de référence, où on n'intervient pas sur les réglages du processus supposé bien réglé, on prélève à intervalles réguliers k échantillons, de préférence de même effectif n (avec k au moins égal à 20 et n au moins égal à 5, soit un nombre minimum de 100 mesures).

On estime l'écart type de la population par :

$$s_0 = \sqrt{\frac{\left(s_1{}^2 + s_2{}^2 + \ldots + s_k{}^2\right)}{k}} \quad \text{Avec :} \quad s_i{}^2 = \sum_{j=1}^{n} \frac{\left(x_i - \overline{x}\right)^2}{(n-1)}$$

Où S_1, S_2..., S_k désignent les écarts types (touche $\sigma_{(n-1)}$ de la calculette) de rang 1, 2, …, k d'effectif constant n.

Dispersion globale = **6 .** $\boldsymbol{S_0}$ (99,73 %) ou **6,18 .** $\boldsymbol{S_0}$ (99,8 %)

Note : On peut également estimer l'écart type en divisant la moyenne des k écarts types par c_4 ou la moyenne des k étendues par d_2, (c_4 et d_2 sont deux coefficients donnés dans des tables), mais ces deux méthodes sont moins précises que celle préconisée ci-dessus.

12.2 La capabilité

La capabilité exprime l'aptitude d'un procédé à produire des pièces conformes aux tolérances et spécifications définies sur les dessins de définition (réalisés en bureau d'études). Le constructeur automobile Ford fut un pionnier en ce domaine et reste encore un des leaders reconnus. Cela explique que les indicateurs de capabilité définis par cette marque restent largement utilisés. Dans cet ouvrage, nous resterons sur cette base Ford et ne détaillerons pas les autres indicateurs.

Le principe de base consiste à comparer l'intervalle de tolérance (spécification bureau d'études) à la dispersion du moyen de production afin de vérifier si ce dernier est apte à produire des pièces conformes.

$$\text{Capabilité} = \frac{\text{Intervalle de tolérance}}{\text{Dispersion}}$$

Suivant la dispersion (instantanée ou globale) utilisée lors du calcul, on parlera de capabilité machine ou de capabilité procédé.

12.2.1 Capabilité machine

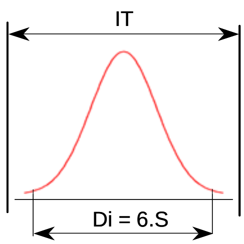
La capabilité machine s'intéresse à la dispersion instantanée du moyen de production, il s'agit d'une capabilité « court terme ». Elle représente la performance de la machine sur une période très courte durant laquelle elle ne subit pas les variations dues à son environnement (main-d'œuvre, milieu, matière et méthodes).

- **L'indicateur Cm**

$$Cm = \frac{IT}{Di} = \frac{Ts - Ti}{6.S}$$

Avec :

IT : intervalle de tolérance	*Di* : dispersion instantanée
Ti : tolérance inférieure	*S* : écart type estimé
Ts : tolérance supérieure	*Cm* : capabilité machine



En théorie, une machine serait capable si sa dispersion était strictement égale à l'intervalle de tolérance.

Ce cas idéal n'existe pas, de plus l'indice Cm utilise la dispersion instantanée (inférieure à la dispersion globale).

C'est pourquoi en pratique, on retient :

Machine capable si Cm ≥ 1,67

Remarque : La valeur minimale 1,67 provient du rapport (10.S/6.S). Cela revient à définir un IT minimal égal à 10.S (lorsque que S est connu).

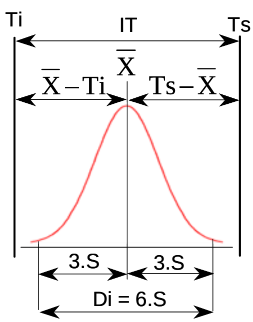
- **L'indicateur Cmk**

L'indicateur Cm ne permet pas de détecter la performance du réglage. En conséquence, un deuxième indicateur (Cmk) s'utilise parallèlement au premier.

Cmk = la plus petite des valeurs *Cmks* et *Cmki*

Avec :

$$Cmks = \frac{Ts - \overline{X}}{3.S} \quad \text{et} \quad Cmki = \frac{\overline{X} - Ti}{3.S}$$



Si le réglage est « parfait » (figure ci-contre), la moyenne ($\overline{X}$) coïncide avec le centre de l'intervalle de tolérance (valeur cible du réglage).

Dans ce cas on a : ($\overline{X} - Ti$) = ($Ts - \overline{X}$) = IT/2 donc Cmks = Cmki = Cmk = Cm.

On retient donc en pratique :

Machine capable et bien réglée
si Cm ≅ Cmk ≥ 1,67

Dès que la moyenne diffère de la valeur cible, Cmks et Cmki sont différents. L'indicateur Cmk n'est donc plus identique à Cm et le déréglage est détecté.

La valeur du déréglage correspond à la différence entre la valeur cible (centre de l'intervalle de tolérance) et la valeur de la moyenne ($\overline{X}$).

- **Exemples de calcul et d'interprétation des indices**

Pour une spécification BE de : 20 ± 0,2 mm

Cas n°	$\overline{X}$	S	Cm	Cmk	Interprétation
1	20,00385	0,0385	1,73	1,70	Machine capable et bien réglée (Cm ≅ Cmk > 1,67)
2	20,066	0,0385	1,73	1,16	Machine capable mais mal réglée (Cm > 1,67 mais Cm ≠ Cmk < 1,67)
3	20,00385	0,0475	1,40	1,38	Machine non capable mais bien réglée (Cm ≅ Cmk < 1,67)
4	20,066	0,0475	1,40	0,94	Machine non capable et mal réglée (Cm < 1,67 et Cm ≠ Cmk < 1,67)

12.2.2 Capabilité procédé

La capabilité procédé s'intéresse à la dispersion globale du procédé, il s'agit d'une capabilité « long terme ». Par rapport à la capabilité machine, elle intègre en plus les variations dues à l'environnement immédiat de la machine (main d'œuvre, milieu, matière et méthodes).

- **Les indicateurs Cp et Cpk**

$$Cp = \frac{IT}{Dg} = \frac{Ts - Ti}{6.S_0}$$

Avec :

IT : intervalle de tolérance — *Dg* : dispersion globale

Ti : tolérance inférieure — S_0 : écart type estimé

Ts : tolérance supérieure — *Cp* : capabilité procédé

Cmk = la plus petite des valeurs *Cmks* et *Cmki*

Avec :

$$Cpks = \frac{Ts - \overline{X}}{3.S_0} \quad \text{et} \quad Cmki = \frac{\overline{X} - Ti}{3.S_0}$$

La dispersion globale utilisée dans le calcul de cet indicateur est plus importante que la dispersion instantanée car elle intègre des variations supplémentaires. La valeur pratique minimale retenue est donc de 1,33 (au lieu de 1,67 en capabilité machine).

Procédé capable et bien réglé si Cp ≅ Cpk ≥ 1,33

- **Les pertes de capabilité**

Maurice Pillet explique dans son ouvrage[132] qu'il est souvent difficile de fixer une limite pour la capabilité. La chute de capabilité entre Cm et Cp dépend souvent du type de machine étudiée.

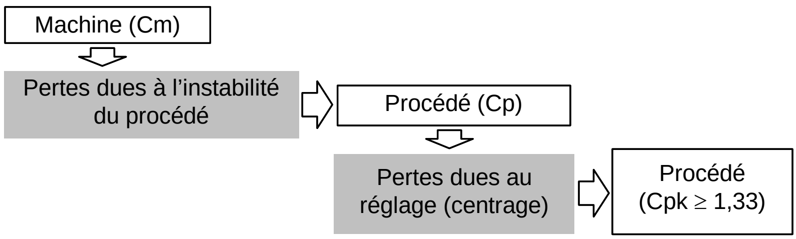


Figure 12.2 Les pertes de capabilité

En fait, l'expérience montre qu'une capabilité machine de 2 est souvent le minimum pour obtenir en fin de compte un Cpk de 1,33.

L'analyse des pertes de capabilité et de leurs causes permet souvent de progresser. Cela se traduit par une stabilisation du procédé qui a pour effet de diminuer l'écart entre la dispersion globale et la dispersion instantanée. En d'autres termes, augmenter la stabilité du procédé revient à diminuer les pertes de capabilité et permet de rendre plus accessible l'objectif d'un Cpk proche de 1,33.

12.2.3 Les indicateurs Pp et Ppk[133]

Dans les années 90, Ford remplace la capabilité machine par la capabilité préliminaire avec deux nouveaux indicateurs Pp (*Preliminary Process*) et Ppk. En effet, jusqu'alors, on pouvait avoir une très bonne capabilité machine et pourtant arriver à un indicateur Cpk médiocre. Ces nouveaux indicateurs visaient à diminuer considérablement ce phénomène. Il faut cependant reconnaître que de nombreuses entreprises ont conservé toutefois les indicateurs Cm et Cmk.

---

132 *Cf.* l'ouvrage *Appliquer la maîtrise statistique des procédés MSP/SPC*, Éditions d'Organisation.

133 Principale source bibliographique : *Technologies et formation* n°45, article de Maurice Pillet « SPC : les calculs de capabilité.

On prélève (généralement lors d'une pré-série) des petits échantillons (5 pièces par exemple) à fréquence élevée (tous les 1 /4 d'heure, par exemple) durant une période de production suffisamment longue (par exemple 8 heures). Les résultats sont enregistrés sur une carte d'analyse[134] (X/R ou X/σ).

– Un journal de bord est associé à la carte d'analyse afin de noter soigneusement toute intervention sur le procédé.
– La taille des échantillons est celle qui sera retenue lors de la production sérielle.
– La fréquence de prélèvement doit être suffisamment élevée pour suivre le plus finement possible les variations du procédé.
– L'essai devra comporter au moins 20 échantillons.

Les indicateurs Pp et Ppk sont ensuite calculés à partir des valeurs de la carte d'analyse de la même manière que pour Cp et Cpk.

Si **Pp $\cong$ Ppk $\geq$ 1,67** le procédé est capable et permet d'envisager la production en série avec un pilotage par cartes de contrôles (*cf.* § 12.3) et le suivi des indicateurs Cp et Cpk.

12.3 Les cartes de contrôle

12.3.1 Introduction

Le but du contrôle de fabrication est d'assurer la stabilité de la qualité de la production à un niveau fixé, en suivant à la fois le réglage et la dispersion du processus.

Deux techniques sont envisageables :

– **Le prélèvement à la fin de la production,** peu intéressant car la détection intervient en fin de série et non à l'instant où le problème apparaît.
– **Les contrôles intermittents** tout au long de la fabrication, technique utilisée pour les cartes de contrôle qui offre l'avantage d'agir dès l'apparition du dysfonctionnement, de remédier au problème et de ce fait de limiter le nombre de pièces défectueuses.

---

134 X/R : carte de contrôle moyenne et étendue ; X/σ : carte de contrôle moyenne et écart type (*cf.* § 12.3).

Deux types de contrôle existent :

– **Le contrôle aux mesures,** les dimensions sont vérifiées à l'aide d'un instrument de mesure adapté à la précision souhaitée (pied à coulisse, table à mesurée ...). Ce type de contrôle prend en compte la tendance centrale (moyenne) et la dispersion (étendue ou écart type), mais il suppose que la distribution du caractère contrôlé est voisine d'une distribution normale ; il est donc très important de vérifier ce point[135].

– **Le contrôle par attributs**, utilisant un système spécifique de contrôle qui identifie seulement les pièces bonnes ou mauvaises sans recourir à la mesure (calibre, gabarit de contrôle…). Ce type de contrôle a l'avantage d'être simple et rapide, mais a l'inconvénient d'être moins efficace (à effectif contrôlé égal) que le contrôle aux mesures.

- **Principe et objectifs**

Un contrôle en cours de fabrication consiste à pratiquer un test statistique répété par prélèvements successifs d'échantillons. À chaque prélèvement, on vérifie que le résultat (moyenne ou proportion, écart type ou étendue) se trouve dans l'intervalle de confiance, matérialisé par des limites tracées sur un graphe ou une feuille de relevé.

Les cartes de contrôle permettent de suivre les différents paramètres d'une fabrication.

Elles servent à :

– déterminer les moments opportuns pour un réglage éventuel en utilisant les cartes comme base de décision,

– connaître la capabilité du procédé, c'est-à-dire le niveau de qualité qu'on peut attendre de celui-ci lorsqu'il est sous contrôle,

– s'assurer que cette capabilité n'évolue pas et déclencher une action corrective dans le cas contraire,

– stimuler l'amélioration continue du procédé par le personnel de production.

---

[135] *Cf.* norme NF X 06-050.

12.3.2 Présentation générale

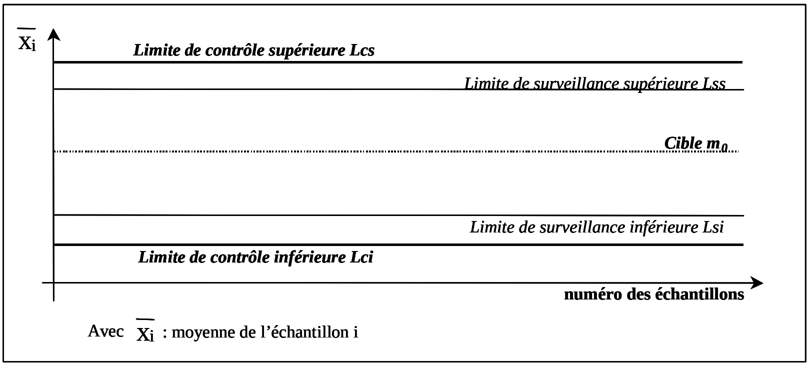
- **Principe de construction (exemple de la carte de la moyenne)**

Une carte de contrôle est un document graphique composé :

– d'**une ligne centrale** qui correspond à la valeur cible m_0 (estimation ou valeur de référence),

– de **limites de contrôle** (inférieures et supérieures) situées de part et d'autre de la ligne centrale,

– éventuellement **de limites de surveillance** (facultatives).



- **Principe de fonctionnement de la carte de la moyenne**

– Prélever à intervalles réguliers des échantillons d'effectif fixe « n ».

– Mesurer les pièces à chaque prélèvement d'échantillon, et calculer la moyenne des valeurs relevées.

– Reporter, à chaque prélèvement d'échantillon successivement ces moyennes sur un graphique appelé « carte de contrôle ».

– Prendre la décision, à chaque échantillon, de poursuivre ou non la production selon la position de sa moyenne sur le graphique :

  – moyenne comprise entre les limites de contrôle ⇒ poursuite de la production,

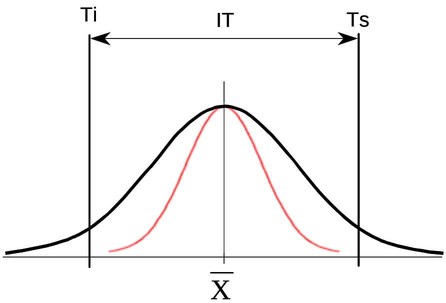
  – moyenne hors limites de contrôle ⇒ arrêt de la production et réglage.

  Dans le cas d'une utilisation des limites de surveillance, une moyenne comprise entre LC et LS incite à une surveillance accrue, par exemple un nouveau prélèvement pour confirmer ou non un déréglage.

- **Différentes cartes de contrôle**

La seule surveillance de la moyenne ne suffit pas à garantir que le processus fonctionne bien.

En effet, la dispersion du processus peut évoluer au fil du temps alors même que la moyenne reste correcte, comme le montre la figure suivante.



Dans ce cas, la fabrication de pièces hors limites ne serait pas détectable en observant uniquement la moyenne.

C'est pourquoi il faut impérativement utiliser deux cartes de contrôle en parallèle pour surveiller deux paramètres : la position et la dispersion.

Surveillance du paramètre de position

– Carte de contrôle des moyennes.

Surveillance du paramètre de dispersion (2 types de cartes)

– Carte de contrôle des étendues, utilisée habituellement lorsque les cartes sont manuelles.

– Carte de contrôle des écarts types lorsque l'on utilise une aide informatique ou une calculette à fonctions statistiques.

- **Principe de fonctionnement de la carte de la dispersion (étendue ou écart type)**

– Principe de prélèvement, calcul et report sur le graphique identique à la carte de la moyenne.

– Règle de décision :
  – LCI < valeur < LCS ⇒ poursuite de la production
  – Valeur > LCS ⇒ arrêt de la production et vérification de la machine ou des conditions de production afin de détecter les faits nouveaux ayant pu intervenir.
  – Valeur < LCI (ou LSI) ⇒ en principe cela devrait traduire une amélioration. On vérifiera donc si cette tendance est réelle. Dans l'affirmative, on peut recalculer les limites de la carte de la moyenne ainsi que celles de la carte de dispersion.

Mais il se peut également que ces dépassements inférieurs résultent des relevés eux-mêmes ; un appareil de mesure bloqué ou inadapté ou un opérateur négligent peuvent en être à l'origine.

Dans le cas d'une utilisation des limites de surveillance, une valeur comprise entre LSS et LCS incite à une surveillance accrue, par exemple à un nouveau prélèvement pour confirmer ou non cette tendance.

- **Effectif des échantillons et fréquence de prélèvement**

Effectif

En pratique, la taille de l'échantillon est souvent de 5 pièces et convient bien lorsque la capabilité machine est bonne. Cette valeur s'explique par une raison historique : lorsque les cartes étaient calculées à la main, le chiffre 5 était pratique pour le calcul de la moyenne (multiplication par 2 suivie d'une division par 10).

Lors des prélèvements des pièces, il faut respecter les conditions suivantes :

– Les pièces d'un échantillon doivent être produites dans des conditions très similaires et sur un très court intervalle de temps ⇒ pas de réglage pendant un prélèvement mais corrections possibles entre 2 prélèvements.

– La taille des échantillons demeure constante pour tous les échantillons.

Fréquence de prélèvement

Certains auteurs proposent des abaques pour déterminer la fréquence de prélèvement, mais on suit en général la règle empirique suivante : « la fréquence des actions correctives sur un procédé doit être au moins quatre fois plus faible que la fréquence de prélèvement », par exemple :

– Procédé stable (1 réglage par demi-journée) ⇒ toutes les heures.

– Procédé peu stable (1 réglage par heure) ⇒ tous les ¼ d'heure.

- **Le journal de bord du processus**

Le journal de bord du processus est le complément indispensable de la carte de contrôle. Comment en effet rechercher une cause de variation anormale en ne disposant d'aucune information concernant le processus antérieur ?

Ce document recense toutes les interventions ayant eu lieu pendant la production. Il couvre tous les événements concernant le procédé, depuis la mise en route jusqu'à son arrêt définitif (historique).

À titre d'exemples, les événements peuvent être : les heures de mise en route et de pause, les causes d'arrêt, les réglages, les interventions sur les outils, les pannes, les interventions de maintenance, les défaillances, les changements d'équipe, l'introduction de nouveaux lots de matière première, de matériau…

Ce journal est fondamental en phase d'amélioration lors de la recherche de cause d'événements; il est la mémoire du procédé. Son principe est simple, mais sa conception doit toutefois privilégier la rapidité de saisie pour l'opérateur (éviter la littérature). Avec une liste codifiée des incidents prévisibles, par exemple, les opérateurs n'ont à noter que le code d'incident directement sur la carte de contrôle.

Ce journal permet aussi de vérifier la cohérence entre la fréquence d'échantillonnage et la fréquence des interventions.

12.3.3 Calcul des limites de cartes de contrôle de Shewhart[136]

Il s'agit de cartes de contrôle aux mesures issues de la recherche de W.A Shewhart dans les années 30 aux États-Unis au sein de la Bell Telephon Compagny. Dans cet ouvrage, nous nous limiterons à ces cartes qui sont les plus couramment utilisées en contrôle de fabrication. Il existe toutefois d'autres modèles et nous invitons le lecteur, selon son besoin, à consulter les références normatives suivantes :

- **NF X 06-030** *Application de la statistique. Guide pour la mise en place de la maîtrise statistique des processus.*
- **NF X 06-031-1** *Application de la statistique. Cartes de contrôle. Partie 1 : Cartes de contrôle de Shewhart aux mesures.*
- **NF X 06-031-2** *Application de la statistique. Cartes de contrôle. Partie 2 : Cartes de contrôle aux attributs.*
- **NF X 06-031-3** *Application de la statistique. Cartes de contrôle. Partie 3 : Cartes de contrôle à moyennes mobiles avec pondération exponentielle (EWMA).*
- **NF X 06-031-4** *Application de la statistique. Cartes de contrôle. Partie 4 : Cartes de contrôle des sommes cumulées (CUSUM).*
- **NF X 06-050** *Application de la statistique. Étude de la normalité d'une distribution.*

---

[136] *Cf.* NF X 06-031-1.

- **Carte de la moyenne**

– Les **limites de contrôles** sont positionnées à une distance de $\pm 3\frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$ par rapport à la valeur cible. Cette valeur correspond à une très faible probabilité de dépassement des limites (fausse alarme) pour un processus maîtrisé (99,73 % de la population entre les limites, risque de fausse alarme de 0,27 %).

– Les **limites de surveillance** (optionnelles) sont positionnées à une distance de $\pm 2\frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$ par rapport à la valeur cible (95,4 % population entre les limites, risque de fausse alarme de 4,6 %).

À titre d'exemple, la figure suivante présente une carte de la moyenne.

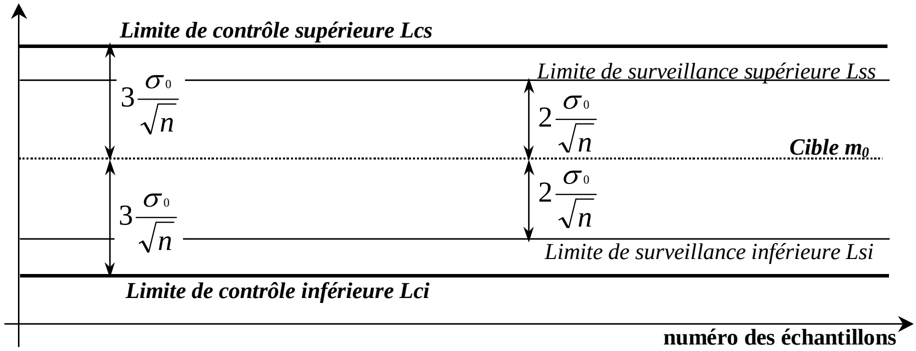


Figure 12.3 Carte de la moyenne

- **Paramètres de calcul de limites des cartes de Shewhart**

La norme NF X 06-031-1 précise le mode de calcul des limites pour la carte de la moyenne notée « $\overline{X}$ », la carte de l'écart type notée « S » et la carte de l'étendue notée « W ».

Carte	Ligne centrale	Limite de contrôle inférieure	Limite de contrôle supérieure	Limite de surveillance inférieure	Limite de surveillance supérieure
$\bar{x}$	μ_0	$\mu_0 - 3\sigma_0/\sqrt{n}$	$\mu_0 + 3\sigma_0/\sqrt{n}$	$\mu_0 - 2\sigma_0/\sqrt{n}$	$\mu_0 + 2\sigma_0/\sqrt{n}$
s	$c_4\sigma_0$	$B_5\sigma_0$	$B_6\sigma_0$	$B'_5\sigma_0$	$B'_6\sigma_0$
w	$d_2\sigma_0$	$D_1\sigma_0$	$D_2\sigma_0$	$D'_1\sigma_0$	$D'_2\sigma_0$

Dans la pratique, on remplace :

– μ_0 (moyenne vraie de la distribution de X avec le processus bien réglé) par $\mathbf{m_0}$ (ordonnée de la ligne centrale de la carte de la moyenne) correspondant soit à une estimation par la moyenne des moyennes d'un nombre « k » d'échantillons, soit à une valeur de référence spécifiée (valeur cible) le plus souvent égale au centre de l'intervalle de tolérance.

– σ_0 (écart type vrai de la distribution de X avec le processus bien réglé) par $\mathbf{S_0}$ (estimation de l'écart type σ_0), valeur obtenue suivant les modes de calcul détaillés au paragraphe 12.1.2 (évaluation de la dispersion).

Les coefficients mentionnés précédemment dans les formules de calcul sont détaillés par la même norme et regroupés dans le tableau suivant :

n	c_4	B_5	B_6	B'_5	B'_6	d_2	D_1	D_2	D'_1	D'_2
2	0,7979	—	2,606	—	2,003	1,128	—	3,686	—	2,834
3	0,8862	—	2,276	—	1,813	1,693	—	4,358	—	3,469
4	0,9213	—	2,088	0,144	1,699	2,059	—	4,698	0,299	3,819
5	0,9400	—	1,964	0,258	1,622	2,326	—	4,918	0,598	4,054
6	0,9515	0,029	1,874	0,336	1,567	2,534	—	5,078	0,838	4,230
7	0,9594	0,113	1,806	0,395	1,523	2,704	0,205	5,203	1,038	4,370
8	0,9650	0,179	1,751	0,441	1,489	2,847	0,387	5,307	1,207	4,487
9	0,9693	0,232	1,707	0,478	1,461	2,970	0,546	5,394	1,354	4,586
10	0,9727	0,276	1,669	0,509	1,437	3,078	0,687	5,469	1,484	4,672
11	0,9754	0,313	1,637	0,535	1,416					
12	0,9776	0,346	1,610	0,557	1,399					
13	0,9794	0,374	1,585	0,576	1,383					
14	0,9810	0,399	1,563	0,593	1,369					
15	0,9823	0,421	1,544	0,608	1,357					

NOTE 1 : Les tirets indiquent qu'il n'y a pas de limite de contrôle correspondante.

NOTE 2 : N'attacher aucune importance particulière aux symboles des coefficients de ces tableaux ; ils reprennent ceux qui sont utilisés dans une norme internationale ISO.

- **Notations utilisées**

Les coefficients donnés pour le calcul des paramètres des cartes sont extraits de la norme.

Selon les ouvrages, on trouve d'autres notations et/ou d'autres formules qui ne remettent pas en cause les résultats obtenus.

La carte de contrôle moyennes/étendues est notée (8, W) dans la norme, mais en pratique, on trouve plutôt la notation (8, R) avec R comme « Range » qui est le terme anglais correspondant à l'étendue.

12.3.4 Efficacité des cartes de contrôles

L'efficacité d'une carte de contrôle est en fait l'efficacité à détecter un déréglage. En effet, le pilotage d'un procédé avec des méthodes statistiques comporte toujours deux risques décisionnels :

– **Le risque de conclure à un déréglage** alors qu'il n'y en a pas (fausse alarme) ➢ **risque α**

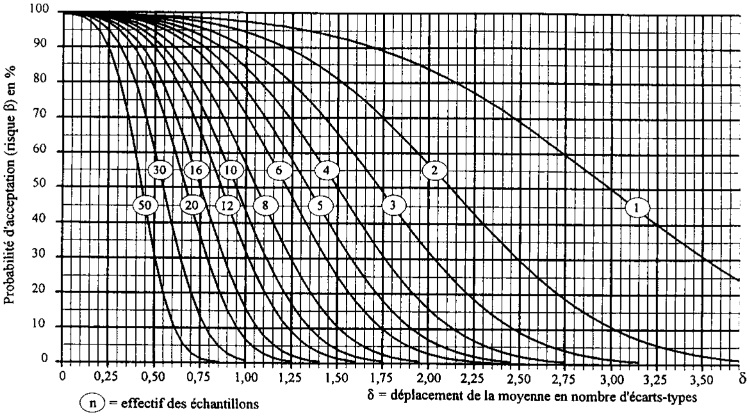
  Pour la carte $\overline{X}$, le risque de fausse alarme est de 0,2 7% pour le dépassement des limites de contrôle et de 4,6 % pour celui des limites de surveillance (pour le calcul des limites décrit précédemment).

  Pour les cartes S et W, ces risques dépendant de n sont supérieurs à ceux de la carte $\overline{X}$, mais toujours inférieurs à 1 % pour les limites de contrôle. Ils peuvent être déterminés à l'aide de tables présentes dans la norme, le risque de fausse alarme est alors obtenu par la formule α = 1 – P_a où P_a est lu dans la table[137] A.2 pour $\frac{\sigma}{\sigma_0} = 1$.

– **Le risque de ne pas détecter un déréglage** alors que celui-ci existe ➢ **risque β**

La norme propose deux types d'outils pour évaluer ces risques et donc déterminer la performance du contrôle envisagé : la courbe d'efficacité et la période opérationnelle.

- **La courbe d'efficacité**



---

[137] Pour consulter cette table, se reporter à la norme NF X 06-031-1.

Ce graphique donne la probabilité « P_a » de ne pas détecter un déréglage « δ » (risque β).

Par exemple, dans l'hypothèse d'un effectif d'échantillon de 5, le risque de ne pas détecter un déréglage δ équivalent à 1,78 écart types est de 10 %. Si l'écart type d'une production est évalué à S = 0,0394 mm, cela revient à dire que 10 fois sur 100, un déréglage sur la moyenne d'environ 0 ?07mm (1,78 x 0.0394) risque de ne pas être détecté.

L'efficacité s'améliore avec l'augmentation de la taille de l'échantillon, comme le montre le graphique précédent.

- **La période opérationnelle**

Cette notion comporte deux concepts :

– La période opérationnelle moyenne (POM) est le nombre moyen d'échantillons successifs nécessaires pour détecter un déréglage δ.

– La période opérationnelle maximale (POMAX) est le nombre maximal d'échantillons successifs nécessaires pour déceler un déréglage, si le processus est déréglé.

Remarque : Pour utiliser ces concepts, se reporter à la norme NF X 06-031-1et aux tableaux repérés A.1, A.2 et A.3 de l'annexe A.

12.3.5 Variante de carte de Shewhart

Il peut être indifférent au producteur que le processus se dérègle légèrement, à condition que les produits fabriqués restent tous dans les tolérances. L'objectif consiste donc à assurer la conformité aux tolérances (figure 12.4).

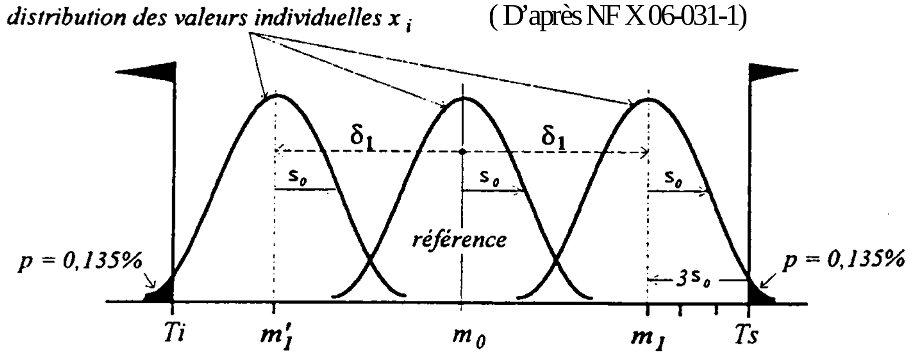


Figure 12.4 Carte assurant la conformité aux tolérances

Ce cas est prévu dans la norme[138] : le principe consiste à définir deux valeurs limites de la moyenne « m_1 et m'_1 » par rapport à chacune des tolérances, souvent appelées « moyennes refusables » comme illustré en figure 12.4. Par rapport à la valeur centrale de la carte de contrôle, ces moyennes définissent le déréglage δ_1 maximum admissible de la moyenne, soit dans un sens, soit dans l'autre. Il convient aussi de fixer les risques α et β pour les moyennes refusables « m_1 et m'_1 ».

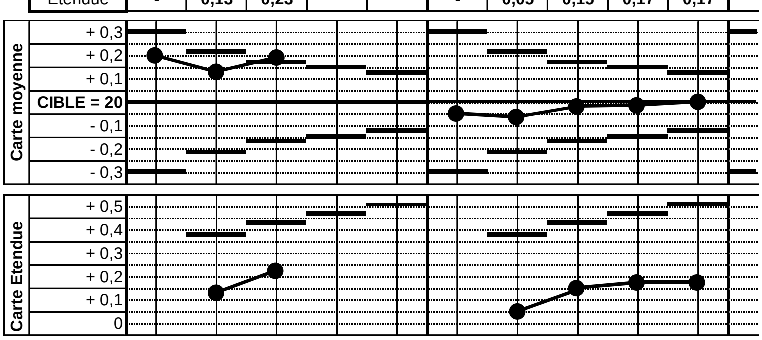
12.3.6 Cartes de contrôle petites séries

Maurice Pillet[139] propose des cartes de contrôles utilisables lors des petites séries. Le modèle de Shewhart est adapté : la carte de la moyenne et celle de l'étendue (ou éventuellement de l'écart type) sont conservées avec les mêmes formules pour calculer les limites de contrôle. Le principe consiste à utiliser des échantillons variables (réduits à l'unité lors de la première pièce) avec des limites de contrôle variables elles aussi.

- **Exemple de principe**

Cote à respecter de 20 ± 0,4 mm et σ_0 = 0,098 mm.

Date	22-janv-08									
	Echantillon 1					Echantillon 2				
X1	20,20					19,95				
X2		20,07					19,9			
X3			20,30					20,05		
X4									20,07	
X5										20,03
Moyenne	**20,2**	**20,14**	**20,19**			**19,95**	**19,93**	**19,97**	**19,99**	**20**
Etendue	**-**	**0,13**	**0,23**			**-**	**0,05**	**0,15**	**0,17**	**0,17**



[138] Pour la mise en œuvre de ce cas, se reporter à la norme NF X 06-031-1.

[139] *Cf.* l'ouvrage *Appliquer la maîtrise statistique des procédés, op. cit.*

	Limites de contrôle			
	Carte W		Carte $\overline{X}$	
n	**LCS**	**LCI**	**LCS**	**LCI**
1	-	-	20,30	19,70
2	0,368	-	20,21	19,79
3	0,435	-	20,17	19,83
4	0,469	-	20,15	19,85
5	0,507	-	20,13	19,87

Les limites sont calculées à l'aide des mêmes formules et coefficients donnés au paragraphe 12.3.7 pour le modèle de Shewhart :

– LC = valeur cible ± $3\frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$ (pour la carte de la moyenne).
– LCS = $D_2.\sigma_0$ et LCI = $D_1.\sigma_0$ (pour la carte de l'étendue).

- **Mode opératoire** (à partir de l'exemple précédent)

– L'opérateur mesure la première pièce (20,2 mm), inscrit cette valeur en X_1 et reporte le point sur la carte des moyennes.

Évidemment, il n'existe pas de valeur d'étendue. La pièce est dans les limites, donc il poursuit la production.

– L'opérateur mesure la deuxième pièce (20,07 mm), calcule la moyenne (20,14 mm) et l'étendue (0,13 mm) et reporte les points sur les cartes.

Il poursuit la production car les deux points sont dans les limites fixées.

– À la troisième pièce mesurée (20,30 mm), la moyenne des trois pièces passe à 20,19 mm et dépasse la limite supérieure autorisée (20,17 mm).

L'opérateur procède donc à un réglage.

– L'opérateur calcule la valeur de correction à apporter en réglage en appliquant le principe suivant :

Correction de réglage = (moyenne – valeur cible) × K

Avec le coefficient K choisi dans le tableau ci-dessous.

Moyenne calculée sur :	**1 pièce**	**2 pièces**	**3 pièces**	**4 pièces**	**5 pièces**	**> 5 pièces**
Valeur de K	**1/2**	**2/3**	**3/4**	**4/5**	**5/6**	**1**

Dans notre exemple, la valeur de correction de réglage est égale à environ 0,14 mm = (20,19 – 20 mm) × ¾.

– L'opérateur réalise la correction de réglage et contrôle la pièce réalisée. Il change d'échantillon sur la carte de contrôle en raison de son intervention sur la machine (valeur X_1 du deuxième échantillon = 19,95 mm).

La valeur est dans les limites, la production se poursuit.

– Il réalise de même le contrôle sur les pièces suivantes (X2, X3, X4, X5) et ne détecte aucun besoin d'un nouveau réglage. La probabilité que le réglage soit bon est donc très forte. Dans le cas d'une petite série avec une capabilité machine supérieure à 2, il n'est pas nécessaire de mesurer la suite de la série (tout en étant quasiment sûr que la série sera conforme).

Remarque **:** Ce principe peut aussi être utilisé au démarrage d'une production en grande série pour aider à la phase de réglage sur les premières pièces produites, puis se transforme en cartes de contrôle traditionnel avec prélèvement d'échantillon fixe à fréquence fixe.

12.3.7 Les étapes de la MSP[140] (maîtrise statistique des procédés)

La norme NF X 06-030 propose une démarche en quatre étapes :

1. Orientation de l'action :
   - Choix du processus et/ou produit.
   - Mise en place d'une organisation.
   - Formation des participants.
2. Approfondissement des connaissances :
   - Analyse du produit en fonction du processus et choix des caractéristiques.
   - Analyse du processus et de son système de contrôle.
   - Étude d'aptitude des moyens (capabilité machine).
3. Étude préliminaire :
   - Détermination des paramètres d'échantillonnage et du type de carte.
   - Calcul des limites de contrôle et collecte des données.

     Le processus est-il maîtrisé[141] ? Dans l'affirmative, passer au point suivant, sinon[142] engager des actions afin d'éliminer les causes assignables de variabilité du processus.

---

[140] En anglais : SPC (*Statistical Process Control*).

[141] Un processus est maîtrisé (en anglais *Process Under Control*) lorsque sa variabilité dans le temps n'est due qu'à des sources aléatoires de variation.

[142] Un processus est non maîtrisé (en anglais *Process Out of Control*) lorsque sa variabilité montre la présence de causes assignables (identifiables) de variation.

Le processus est-il apte[143] ? Dans l'affirmative, passer à la phase suivante, sinon engager des actions d'amélioration (recherche et élimination des causes, réduction de la variabilité) afin d'obtenir un processus apte.

4. Exploitation de la MSP :
   - Suivi en temps réel du processus à l'aide des cartes.

     Le processus est-il stable ? Dans l'affirmative, poursuivre le suivi en temps réel (point précédent), sinon engager des actions d'amélioration avant de poursuivre l'utilisation des cartes.
   - Analyse a posteriori du processus : elle permet de déceler d'éventuelles dérives et de les corriger par des actions d'amélioration.

12.4 Le contrôle de réception

Le contrôle de réception s'applique à un lot complet de produits homogènes (fabrication sérielle).

Il peut se pratiquer :

- lors de la livraison d'un fournisseur,
- avant une entrée en stock en magasin d'un lot de production,
- avant une livraison à un client,
- entre deux opérations de production,

Son rôle est double :

- décider de l'acceptation ou du rejet d'un lot,
- classer les fournisseurs (ou les procédés) suivant la qualité de leur production.

12.4.1 Types et références normatives

Les modalités sont les suivantes :

- Le contrôle par comptage de la proportion d'individus non conformes (contrôle par attribut).

[143] L'aptitude est aussi appelée capabilité,de l'anglais *Capability* (*cf.* § 12.2).

– Le contrôle du nombre moyen de caractères non conformes par unité (autre modalité du contrôle par attribut).

– Le contrôle de la proportion d'individus non conformes par mesurage.

Les références normatives suivantes sont à consulter au besoin :

– **NF X 06-022** *Sélection de plans d'échantillonnage pour le contrôle par comptage de la proportion d'individus non conformes ou du nombre moyen de non-conformité par unité.*

– **NF X 06-023** *Sélection de plans d'échantillonnage pour le contrôle par mesurage de la proportion d'individus non conformes.*

– **NF ISO 8422** *Plans d'échantillonnage progressif pour le contrôle par attributs* (indice de classement : X 06-024).

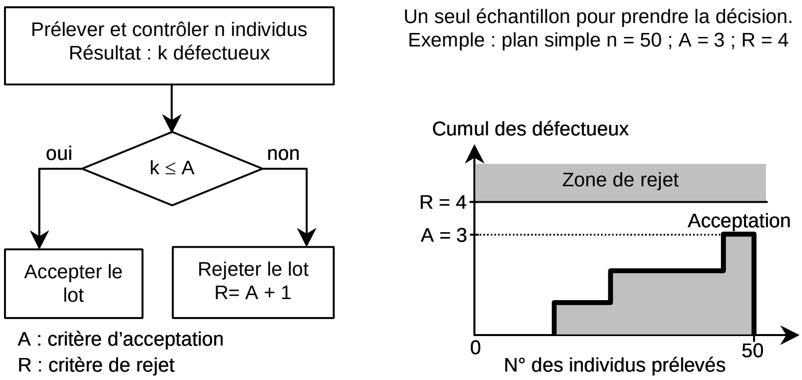
– **NF ISO 8423** *Plans d'échantillonnage progressif pour le contrôle par mesures des pourcentages de non conformes* (indice de classement : X 06-025).

Dans cet ouvrage, nous nous limiterons au contrôle par attribut couramment utilisé (NF X 06-022) et nous invitons le lecteur, suivant son besoin, à consulter les références normatives listées précédemment.

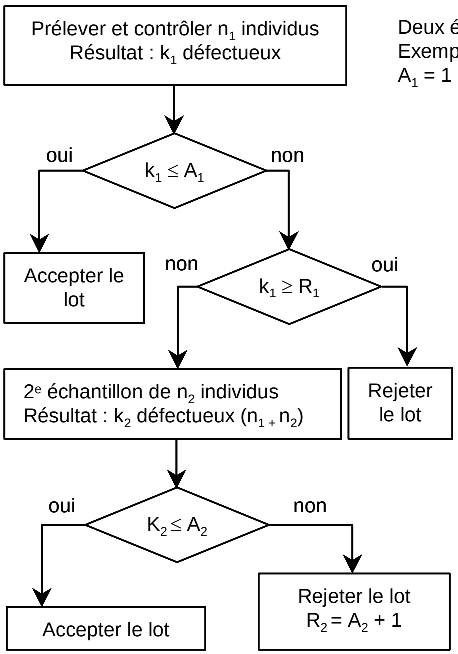
12.4.2 Le contrôle par attribut

Ces contrôles conduisent à décompter, soit les pièces défectueuses, soit le nombre moyen de caractères non conformes par unité. Dans ce dernier cas, chaque individu peut comporter plusieurs défauts.

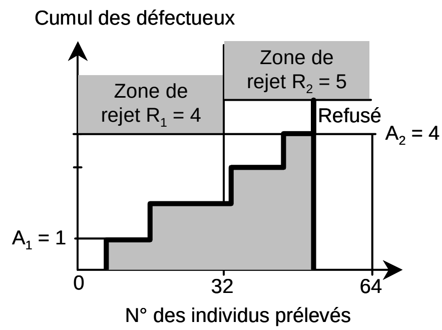
- **Le plan simple**



- **Le plan double**



Deux échantillons au maximum pour prendre la décision.
Exemple : plan double n_1 et $n_2 = 32$
$A_1 = 1$ et $R_1 = 4$; $A_2 = 4$ et $R_2 = 5$

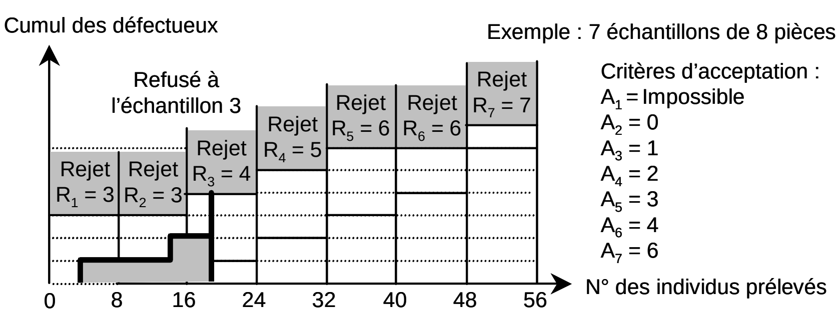


A_1 et A_2 : critères d'acceptation
R_1 et R_2 : critères de rejet

- **Le plan multiple**

Le schéma de la prise de décision est similaire à celui du plan double. La différence provient du nombre maxi d'échantillons : 2 pour le plan double et 7 pour le plan multiple (NF X 06-022).

Comme pour le plan double, la décision (d'acceptation ou de refus) peut intervenir avant le dernier prélèvement.



Exemple : 7 échantillons de 8 pièces

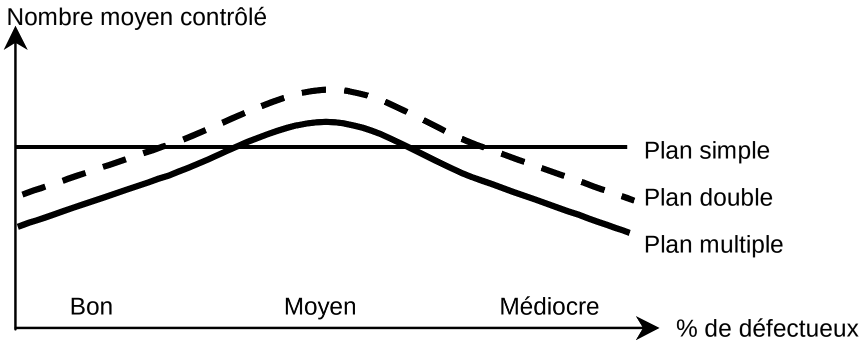
Critères d'acceptation :
A_1 = Impossible
$A_2 = 0$
$A_3 = 1$
$A_4 = 2$
$A_5 = 3$
$A_6 = 4$
$A_7 = 6$

- **Le plan progressif**

C'est un plan multiple pour lequel le nombre de prélèvements n'est pas déterminé à priori.

Pour l'utilisation de ce plan, le lecteur est invité à consulter la NF X 06-024.

- **Le coût du contrôle**



Pour les fournisseurs bons ou médiocres du point de vue de la qualité livrée, les plans doubles ou multiples coûtent moins cher car la décision d'acceptation ou de rejet se fait très rapidement.

En revanche, pour les fournisseurs moyens, il faut le plus souvent réaliser l'ensemble des prélévements pour prendre la décision, d'où un coût plus important que le plan simple.

Ce dernier est donc privilégié pour les fournisseurs de qualité moyenne ou lorsque le niveau de qualité du fournisseur est inconnu.

- **Le contrôle normal, réduit ou renforcé**

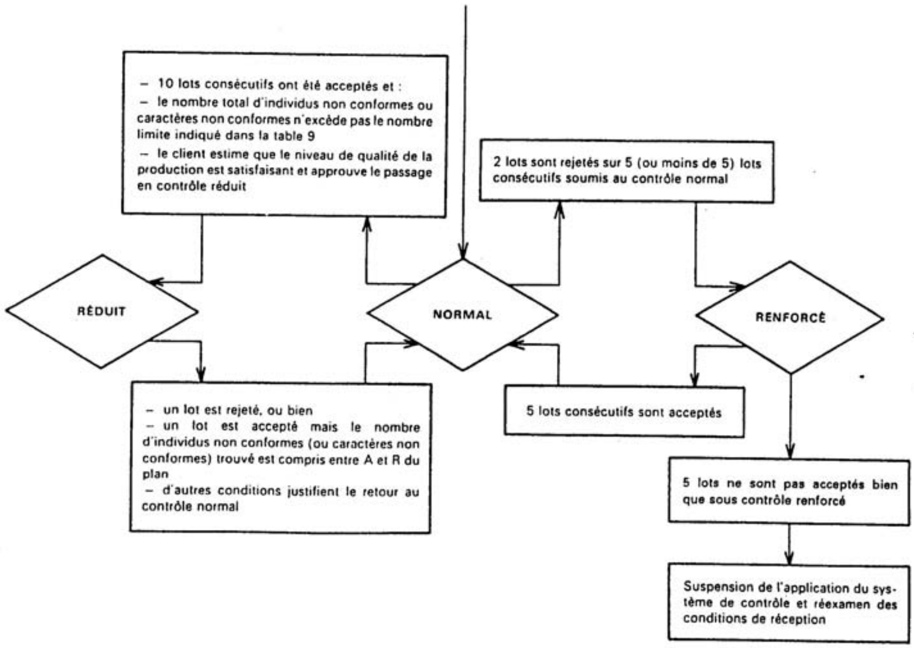
Le contrôle de réception permet de classer les fournisseurs suivant la qualité de leur production.

Il semblerait logique d'exercer pour un fournisseur douteux un contrôle plus sévère et, dans le cas inverse, d'alléger, voire de supprimer les inspections.

Les tables de la norme prévoient cette situation et fournissent des contrôles normaux, réduits ou renforcés.

Le contrôle normal est utilisé au début de la procédure, sauf stipulation contraire.

Les règles de passage d'un contrôle à un autre sont définies comme suit :



12.6 Règles pour la modification du contrôle (NF X 06-022)

12.4.3 Efficacité des plans de contrôle par attribut

Les courbes d'efficacité permettent de définir deux types de risque pour un plan donné :

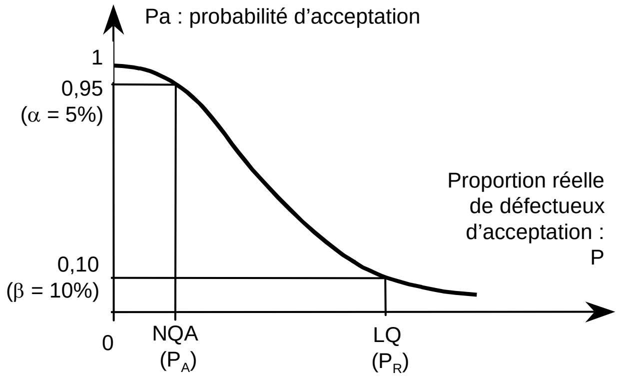
– **Le risque du fournisseur** (α) qui correspond à la probabilité de se voir refuser un lot conforme.

  Habituellement ce risque est fixé à 5 %.

– **Le risque du client** (β) qui correspond à la probabilité d'accepter un lot non conforme.

  En général, ce risque est fixé à 10 %.

L'efficacité varie suivant la taille de l'échantillon prélevé (plans prédéfinis) et les critères d'acceptation et de rejet. Elle varie aussi suivant les modalités du contrôle (normal, réduit ou renforcé). La norme fournit l'ensemble des courbes et tables afin de choisir un plan efficace par rapport au besoin.



12.7 Principe d'une courbe d'efficacité

- **NQA (ou AQL en anglais) : niveau de qualité acceptable**

Le NQA correspond au pourcentage maximum d'individus non conformes pour qu'une production contrôlée soit considérée acceptable.

Exemple : Un producteur désire que la probabilité de rejet des lots comportant 0,65 % de défectueux soit au maximum de 0,05. Cela se traduit par les valeurs suivantes :

$$NQA = P_A = 0{,}65\ \% \quad \text{et} \quad \alpha = 0{,}05 = 5\ \%$$

Le NQA est un élément contractuel, le fournisseur et le client en fixent sa valeur par écrit dans les spécifications de contrôle de réception des produits.

Les valeurs désirées de NQA et du risque α sont nécessaires au choix d'un plan de contrôle. Les valeurs couramment employées sont respectivement de 1 ; 1,5 ou 2,5 % pour le NQA avec un risque α généralement fixé à 5 %.

- **LQ : limite de qualité (ou niveau de qualité toléré)**

La limite de qualité correspond à la proportion de défectueux associée au risque du client (β = 10 % sur la figure 12.7). Il s'agit également d'une valeur contractuelle et nécessaire pour élaborer un plan de contrôle.

- **DS : rapport de discrimination**

Il se définit par le quotient P_R/P_A. Plus ce rapport est proche de 1, plus le plan de contrôle est efficace. Ce rapport est intéressant pour comparer les plans de même NQA.

12.4.4 Exemple d'application

Une société reçoit des côtés de meubles en panneaux de particules dont les cotes d'entraxes de perçages sont vérifiées à l'aide d'un calibre (pièces classées en bonnes ou défectueuses). La fourniture est prévue par lots successifs de 3 000 pièces.

Le fournisseur accepte de se voir refuser, en moyenne, 5 fois sur 100 (α = 5 %) des lots dont la proportion réelle de défectueux est P_A = 2,5 % (NQA).

Le client quant à lui, admet d'accepter, en moyenne, 10 fois sur 100 (β = 10 %) des lots dont la proportion réelle de défectueux est P_R = 5 % (LQ).

Afin de déterminer les plans de contrôle possibles, l'utilisation de la norme NF X 06-022 suit les étapes suivantes.

- **Recherche du plan et de la taille d'échantillon**

La table 1 indique les lettres codes de tous les plans de contrôle avec la taille des échantillons correspondante.

Table 1 — Lettre-code en fonction de l'effectif des lots et du niveau de contrôle

Effectif des lots	Niveaux de contrôle spéciaux				Niveaux de contrôle pour usages généraux		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2 à 8	A	A	A	A	A	A	B
9 à 15	A	A	A	A	A	B	C
16 à 25	A	A	B	B	B	C	D
26 à 50	A	B	B	C	C	D	E
51 à 90	B	B	C	C	C	E	F
91 à 150	B	B	C	D	D	F	G
151 à 280	B	C	D	E	E	G	H
281 à 500	B	C	D	E	F	H	J
501 à 1 200	C	C	E	F	G	J	K
1 201 à 3 200	C	D	E	G	H	K	L
3 201 à 10 000	C	D	F	G	J	L	M
10 001 à 35 000	C	D	F	H	K	M	N
35 001 à 150 000	D	E	G	J	L	N	P
150 001 à 500 000	D	E	G	J	M	P	Q
500 001 et au-dessus	D	E	H	K	N	Q	R

Correspondance entre lettre-code et effectif d'échantillon du plan simple, contrôle normal et renforcé

Lettre-code	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R
Effectif d'échantillon n du plan simple (1)	2	3	5	8	13	20	32	50	80	125	200	315	500	800	1 250	2 000

(1) Dans le plan double correspondant, l'effectif de chaque échantillon est l'effectif du plan simple de lettre-code décalée d'un rang (dans le sens décroissant) ; dans le plan multiple le décalage est de trois rangs.

Cette table comporte 7 niveaux : 4 spéciaux (S1 à S4) utilisés dans le cadre d'un contrôle destructif (pièces contrôlées inutilisables) et 3 généraux (I à III), classés du moins efficace au plus efficace. En usage courant, le niveau II est généralement choisi.

Pour l'exemple, un lot de 3000 pièces en niveau II correspond à la lettre code K. La taille de l'échantillon à prélever sera de 125.

- **Recherche des critères d'acceptation et de rejet**

Nous proposons ici l'utilisation de la table 2A, mais la table individuelle correspondant à la lettre code K pourrait aussi convenir (table 10). L'utilisation de cette dernière serait obligatoire si les risques α et β n'étaient pas respectivement de 5 et 10 %.

En première lecture, sur la ligne correspondant à la lettre code K pour un NQA de 2,5 (chiffre central), on trouverait un plan favorable au fournisseur :

3,19	► P_A = 3,19 % : valeur supérieure au NQA visé de 2,5 %
2,5	
9,42	► P_R = 9,42 % : valeur très supérieure au souhait du client LQ = 5 %

Il vaudrait donc mieux préférer en deuxième lecture un compromis correspondant au plan voisin :

2,09	► P_A = 2,09 % : valeur légèrement inférieure au NQA visé
1,5	
7,42	► P_R = 7,42 % : valeur légèrement supérieure au souhait du client

Ce plan est un peu plus sévère pour le fournisseur (NQA de 2,09 au lieu de 2,5%) et ne satisfait pas entièrement le client (LQ = 7,42 % au lieu de 5 %). Cela correspond donc à une phase de négociation entre client et fournisseur, et l'importance relative de l'un par rapport à l'autre. En sous-traitance, par exemple, c'est bien souvent le client qui impose au fournisseur ses souhaits. Si tel était le cas, on choisirait certainement le plan suivant :

1,09	► P_A = 1,09 % : valeur très défavorable envers le fournisseur
1	
5,35	► P_R = 5,35 % : valeur satisfaisant le client

Pour notre exemple, nous retiendrons une relation équilibrée entre le client et son fournisseur qui se traduit par la situation de compromis évoquée plus haut. Ce plan correspond à 5 % de chances, en moyenne, de refuser des lots dont la proportion réelle de défectueux serait de 2,09 % (risque fournisseur).

Table 2A — Contrôle du pourcentage d'individus non conformes.
Plans d'échantillonnage simple — Contrôles normal, renforcé, réduit

Contrôle normal et contrôle renforcé

Lettre code	n	A = 0 R = 1	A = 1 R = 2	A = 2 R = 3	A = 3 R = 4	A = 5 R = 6	A = 7 R = 8	A = 8 R = 9 (Contrôle renforcé)	A = 10 R = 11	A = 12 R = 13 (Contrôle renforcé)	A = 14 R = 15	A = 18 R = 19 (Contrôle renforcé)	A = 21 R = 22	n (Contrôle réduit – Effectif d'échantillon)	Lettre code
A	2	2,53 / 6,5 / 68,4												2	A
B	3	1,70 / 4,0 / 53,6												2	B
C	5	1,02 / 2,5 / 36,9	7,63 / 10 / 58,4											2	C
D	8	0,64 / 1,5 / 25,0	4,64 / 6,5 / 40,6	11,1 / 10 / 53,9										3	D
E	13	0,394 / 1,0 / 16,1	2,81 / 4,0 / 26,8	6,63 / 6,5 / 36,0	11,3 / 10 / 44,4									5	E
F	20	0,256 / 0,65 / 10,9	1,80 / 2,5 / 18,1	4,22 / 4,0 / 24,5	7,13 / 6,5 / 30,4	14,0 / 10 / 41,6								8	F
G	32	0,161 / 0,40 / 6,94	1,13 / 1,5 / 11,6	2,59 / 2,5 / 15,8	4,39 / 4,0 / 19,7	8,50 / 6,5 / 27,1	13,1 / 10 / 34,1							13	G
H	50	0,103 / 0,25 / 4,50	0,712 / 1,0 / 7,56	1,88 / 1,5 / 10,3	2,77 / 2,5 / 12,9	5,34 / 4,0 / 17,8	8,20 / 6,5 / 22,4	9,74 / / 24,7	12,9 / 10 / 29,1					20	H
J	80	0,064 / 0,15 / 2,84	0,444 / 0,65 / 4,78	1,03 / 1,0 / 6,52	1,73 / 1,5 / 8,16	3,32 / 2,5 / 11,3	5,06 / 4,0 / 14,2	5,98 / / 15,7	7,91 / 6,5 / 18,6	9,87 / / 21,4	11,9 / 10 / 24,2			32	J
K	125	0,041 / 0,10 / 1,84	0,284 / 0,40 / 3,11	0,654 / 0,65 / 4,26	1,09 / 1,0 / 5,35	2,09 / 1,5 / 7,42	3,19 / 2,5 / 9,42	3,76 / / 10,4	4,94 / 4,0 / 12,3	6,15 / / 14,2	7,40 / 6,5 / 16,1	9,95 / / 19,8	11,9 / 10 / 22,5	50	K
L	200	0,0256 / 0,065 / 1,15	0,178 / 0,25 / 1,95	0,409 / 0,40 / 2,66	0,683 / 0,65 / 3,34	1,31 / 1,0 / 4,64	1,99 / 1,5 / 5,89	2,35 / / 6,50	3,09 / 2,5 / 7,70	3,85 / / 8,89	4,62 / 4,0 / 10,1	6,22 / / 12,4	7,45 / 6,5 / 14,1	80	L
M	315	0,0163 / 0,040 / 0,731	0,112 / 0,15 / 1,23	0,259 / 0,25 / 1,69	0,433 / 0,40 / 2,12	0,829 / 0,65 / 2,94	1,26 / 1,0 / 3,74	1,49 / / 4,13	1,96 / 1,5 / 4,89	2,44 / / 5,65	2,94 / 2,5 / 6,39	3,95 / / 7,86	4,73 / 4,0 / 8,95	125	M
N	500	0,0103 / 0,025 / 0,461	0,071 / 0,10 / 0,778	0,164 / 0,15 / 1,06	0,273 / 0,25 / 1,34	0,523 / 0,40 / 1,86	0,796 / 0,65 / 2,35	0,939 / / 2,60	1,23 / 1,0 / 3,08	1,54 / / 3,56	1,85 / 1,5 / 4,03	2,49 / / 4,95	2,98 / 2,5 / 5,84	200	N
P	800	0,0064 / 0,015 / 0,288	0,0444 / 0,065 / 0,486	0,102 / 0,10 / 0,665	0,171 / 0,15 / 0,835	0,327 / 0,25 / 1,16	0,498 / 0,40 / 1,47	0,587 / / 1,82	0,771 / 0,65 / 1,93	0,961 / / 2,22	1,16 / 1,0 / 2,52	1,56 / / 3,09	1,86 / 1,5 / 3,52	315	P
Q	1 250	0,0041 / 0,010 / 0,184	0,0284 / 0,040 / 0,310	0,0654 / 0,065 / 0,426	0,109 / 0,10 / 0,534	0,209 / 0,15 / 0,742	0,318 / 0,25 / 0,942	0,376 / / 1,04	0,494 / 0,40 / 1,23	0,615 / / 1,42	0,740 / 0,65 / 1,61	0,995 / / 1,98	1,19 / 1,0 / 2,25	500	Q
R	2 000	0,0026 / / 0,115	0,0178 / 0,025 / 0,195 (1)	0,0409 / 0,040 / 0,266	0,0683 / 0,065 / 0,334	0,131 / 0,10 / 0,464	0,199 / 0,15 / 0,589	0,235 / / 0,650	0,309 / 0,25 / 0,770	0,385 / / 0,889	0,462 / 0,40 / 1,01	0,622 / / 1,24	0,745 / 0,65 / 1,41	800	R

Passage en contrôle réduit pour tous les plans (contrôle normal) situés dans la colonne désignée par la flèche.

	A = 0 R = 1	A = 1 R = 2	A = 2 R = 3	A = 3 R = 4	A = 5 R = 6	A = 7 R = 8	A = 8 R = 9	A = 10 R = 11	A = 12 R = 13	A = 14 R = 15	A = 18 R = 19	A = 21 R = 22
Contrôle réduit : critères d'acceptation et de rejet	A = 0 R = 1	A = 0 R = 2	A = 1 R = 3	A = 1 R = 4	A = 2 R = 5	A = 3 R = 6	☒	A = 5 R = 8	☒	A = 7 R = 10	☒	A = 10 R = 13

Lorsque le critère d'acceptation est dépassé mais le critère de rejet non atteint, le lot est accepté, mais le contrôle normal est rétabli.

1) Chaque rectangle représente un plan simple défini par les conditions marginales (n; A-R).

2) A l'intérieur du rectangle, les chiffres supérieur et inférieur représentent les % d'individus non conformes pour lesquels P_a = 95 % et P_a = 10 %. Le chiffre central est le NQA en contrôle normal; lorsque ce chiffre n'existe pas, le rectangle représente uniquement un plan renforcé.

3) Les flèches ← et ↓ donnent la correspondance entre plan normal (origine de la flèche) et plan renforcé (pointe de la flèche).

4) A la partie inférieure du tableau les flèches donnent les valeurs des critères d'acceptation et de rejet en contrôle réduit, pour tous les plans situés dans la colonne correspondante. Les effectifs d'échantillon, en contrôle réduit, se trouvent dans la colonne de droite du tableau, repérés par la lettre-code.

(1) Le plan renforcé correspondant est lettre-code S n = 3150, A = 1, R = 2.

Le client quant à lui a 10% de chances d'accepter un lot dont la proportion réelle de défectueux serait de 7,42 %. Ce choix étant réalisé, il nous reste à déterminer les critères d'acceptation et de rejet de ce plan simple en contrôle normal, réduit ou renforcé par simple lecture sur cette même table.

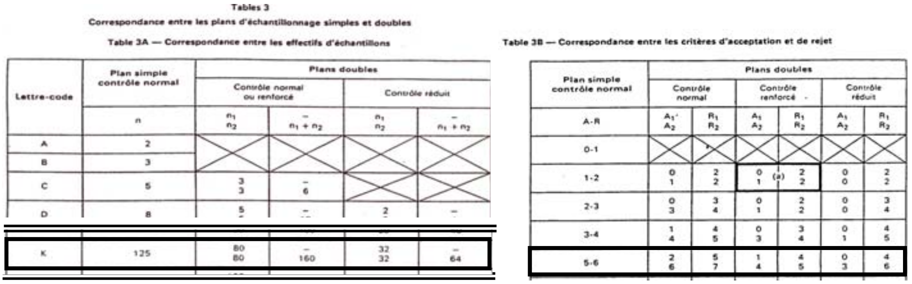
Les résultats sont les suivants :

Plan simple lettre code K			
	Normal	Réduit	Renforcé
Effectif d'échantillon	125	50	125
Critère d'acceptation A	5	2	3
Critère de Rejet R	6	5	4

Les plans doubles ou multiples se déterminent à l'aide de tables complémentaires à partir du plan simple (contrôle normal) défini.

- **Détermination du plan double**

Lecture des tables 3A et 3B (extraits dans cet ouvrage, consulter la norme pour le document complet).



Tables 3

Correspondance entre les plans d'échantillonnage simples et doubles

Table 3A — Correspondance entre les effectifs d'échantillons

Lettre-code	Plan simple contrôle normal	Plans doubles			
		Contrôle normal ou renforcé		Contrôle réduit	
	n	n_1 n_2	— $n_1 + n_2$	n_1 n_2	— $n_1 + n_2$
A	2				
B	3				
C	5	3 3	— 6		
D	8	5	—	2	—
K	125	80 80	— 160	32 32	— 64

Table 3B — Correspondance entre les critères d'acceptation et de rejet

Plan simple contrôle normal	Plans doubles					
	Contrôle normal		Contrôle renforcé		Contrôle réduit	
A-R	A_1 A_2	R_1 R_2	A_1 A_2	R_1 R_2	A_1 A_2	R_1 R_2
0-1						
1-2	0 1	2 2	0 1 (a)	2 2	0 0	2 2
2-3	0 3	3 4	0 1	2 2	0 0	3 4
3-4	1 4	4 5	0 3	3 4	0 1	4 5
5-6	2 6	5 7	1 4	4 5	0 3	4 6

Les résultats sont les suivants :

Plan double lettre code K			
	Effectif d'échantillon	Critère d'acceptation A	Critère de Rejet R
Normal	$n_1 = 80$ $n_2 = 80$	$A_1 = 2$ $A_2 = 6$	$R_1 = 5$ $R_2 = 7$
Réduit	$n_1 = 32$ $n_2 = 32$	$A_1 = 0$ $A_2 = 3$	$R_1 = 4$ $R_2 = 6$
Renforcé	$n_1 = 80$ $n_2 = 80$	$A_1 = 1$ $A_2 = 4$	$R_1 = 4$ $R_2 = 5$

- **Détermination du plan multiple**

Le plan multiple se détermine à partir du plan simple en suivant le même principe que pour le plan double : par la simple lecture des tables 4A et 4B (non fournies dans cet ouvrage, mais consultables dans la norme).

Les résultats sont les suivants :

Plan multiple lettre code K			
	Effectif d'échantillon	Critère d'acceptation A	Critère de Rejet R
Normal	$n_1 = 32$	A_1 = non permis	$R_1 = 4$
	$n_2 = 32$	$A_2 = 1$	$R_2 = 5$
	$n_3 = 32$	$A_3 = 2$	$R_3 = 6$
	$n_4 = 32$	$A_4 = 3$	$R_4 = 7$
	$n_5 = 32$	$A_5 = 5$	$R_5 = 8$
	$n_6 = 32$	$A_6 = 7$	$R_6 = 9$
	$n_7 = 32$	$A_7 = 9$	$R_7 = 10$
Réduit	$n_1 = 13$	A_1 = non permis	$R_1 = 3$
	$n_2 = 13$	$A_2 = 0$	$R_2 = 4$
	$n_3 = 13$	$A_3 = 0$	$R_3 = 5$
	$n_4 = 13$	$A_4 = 1$	$R_4 = 6$
	$n_5 = 13$	$A_5 = 2$	$R_5 = 7$
	$n_6 = 13$	$A_6 = 3$	$R_6 = 7$
	$n_7 = 13$	$A_7 = 4$	$R_7 = 8$
Renforcé	$n_1 = 32$	A_1 = non permis	$R_1 = 3$
	$n_2 = 32$	$A_2 = 0$	$R_2 = 3$
	$n_3 = 32$	$A_3 = 1$	$R_3 = 4$
	$n_4 = 32$	$A_4 = 2$	$R_4 = 5$
	$n_5 = 32$	$A_5 = 3$	$R_5 = 6$
	$n_6 = 32$	$A_6 = 4$	$R_6 = 6$
	$n_7 = 32$	$A_7 = 6$	$R_7 = 7$

12.5 Les plans d'expériences

Les plans d'expériences permettent aux entreprises de progresser dans la maîtrise de la conception de produits ou des procédés de production en organisant scientifiquement les expériences grâce à des notions mathématiques. En approche traditionnelle, si 2 paramètres (facteurs) peuvent varier selon 3

modalités, il faudrait réaliser 9 expériences (3^2), ce qui représente un coût important. Les plans d'expériences permettent de réduire considérablement le nombre d'expériences à mener pour étudier un phénomène.

Les **agronomes**, vers **1925**, furent les premiers utilisateurs car leur domaine utilise de très nombreux paramètres influents ; la réduction du nombre et du coût des expériences présentait donc un intérêt certain.

Dans cet ouvrage, nous n'évoquerons que le principe de la méthode illustrée par un exemple simple. Pour un approfondissement du sujet, nous invitons le lecteur à consulter les ouvrages cités en bibliographie.

12.5.1 L'apport de Taguchi

Les travaux de Monsieur Taguchi au Japon, dans les années 1960, ont favorisé l'application industrielle de ces outils. Sans remettre en cause les notions mathématiques utilisées, son approche consiste à s'appuyer fortement sur l'expérience acquise par les « gens de terrain » afin d'expérimenter uniquement les situations correspondant à des zones de doute en vue de limiter le nombre d'expériences et les coûts. Il privilégie une efficacité pratique (se situer et faire le « juste nécessaire » d'expériences) au moindre coût (durée réduite de l'action), à une justesse scientifique ou mathématique. Pour un processus, choisir un plan d'expérience court permet de gagner rapidement de l'argent sans forcément rechercher la solution optimale (qui nécessiterait des plans plus complexes, plus longs et plus coûteux).

En pratique, pour faciliter le choix des expériences à mener, Monsieur Taguchi a construit des tables orthogonales[144] qui optimisent le nombre d'essais et des graphes qui facilitent le positionnement des facteurs sur ces tables (en fonction de la difficulté ou non de réglage du paramètre et des interactions à étudier).

12.5.2 Terminologie

– **Facteur** : paramètre influant (ou supposé) sur le résultat d'une expérience (le type d'outillage, par exemple). Un facteur est dit « **interne** » lorsqu'une action est possible sur celui-ci (exemple : la vitesse d'amenage d'une pièce). Dans le cas contraire, il est nommé « facteur **externe** ».

---

[144] L'orthogonalité d'une table signifie que chaque facteur est testé autant de fois sur ses différents niveaux.

- **Niveau** : valeur pouvant être prise par un facteur (vitesse d'amenage réglée à 10 m/mn, par exemple).
- **Modalité** : état que peut prendre un facteur. À chaque modalité correspond donc un niveau. Par exemple : modalité 1 = 10 m/mn et modalité 2 = 5 m/mn.
- **Réponse** : résultat d'une expérience.
- **Effet d'un facteur** : influence mesurée du facteur sur le résultat (réponse).
- **Interaction** : une interaction entre deux facteurs existe lorsque l'effet de l'un dépend du niveau de l'autre et que l'effet de celle-ci est imprévisible. Par exemple, la consommation de boissons à base de caféine va augmenter l'énervement de l'individu, alors qu'une boisson alcoolisée aura tendance à atténuer ses réflexes. L'effet individuel de ces boissons sur le temps de réaction au freinage d'un conducteur est facilement identifiable et mesurable. En revanche, l'effet de l'association des deux boissons est imprévisible malgré la connaissance des effets individuels de chacune d'entre elles : il existe donc une interaction. En cela, l'interaction diffère de la corrélation, car pour cette dernière l'effet d'un facteur est prévisible à partir de l'autre facteur.

12.5.3 La démarche Taguchi

Après avoir vérifié les enjeux, la faisabilité et constituer un groupe de travail (prévoir au besoin une formation), la démarche peut se traduire en quatre phases : préparatoire, d'expérimentation, d'analyse et de validation.

- **Phase préparatoire**

Le groupe devra :

- définir précisément l'objectif de l'expérimentation,
- définir la performance à optimiser et le moyen de la mesurer,
- recenser les facteurs supposés influents par la méthode des 5M et/ou du diagramme causes/effet par exemple,
- choisir les facteurs qui seront testés (ceux ressentis comme les plus influents), déterminer leur modalité et les niveaux associés (en pratique, on utilise souvent 2 modalités).
- choisir le plan d'expériences approprié parmi les tables Taguchi.
- organiser les essais et définir le protocole.

- **Phase d'expérimentation**

À la date convenue, et en suivant scrupuleusement le protocole, les essais seront réalisés par les personnes désignées par le groupe de travail.

- **Phase d'analyse**

Le groupe devra :

– réaliser les calculs et représenter graphiquement les résultats,
– interpréter les résultats et rechercher les niveaux donnant l'optimum,
– préparer l'essai de validation.

- **Phase de validation**

Le groupe devra :

– réaliser l'essai de validation afin de vérifier la performance attendue par le réglage optimum,
– décider ou non de poursuivre son action suivant la performance obtenue.

Généralement, l'essai de validation confirme le réglage optimum si le protocole d'essai est défini précisément et respecté.

12.5.4 Exemple d'application

Une entreprise de menuiserie utilise une chaîne de finition par trempage. Elle constate un certain nombre de défauts sur les articles traités et souhaite améliorer le fonctionnement de son matériel.

Un groupe de travail est créé et décide d'utiliser les plans d'expériences pour répondre à la demande.

- **Phase préparatoire**

– La ligne de finition provoque parfois plusieurs taches d'environ 5 mm^2 rendant le produit invendable sans retouches. L'objectif de l'expérimentation consiste à améliorer le fonctionnement en minimisant le nombre de taches (une tache par produit est une limite acceptable par le client).
– La grandeur mesurée sera donc le nombre de taches par ouvrage (contrôle visuel), l'optimisation vise à ne pas excéder plus d'une tache par ouvrage.
– Après avoir utilisé la méthode des 5M, le groupe retient 4 facteurs et 3 interactions à 2 modalités listés dans le tableau suivant.

Facteur ou interaction	Rep	Modalité	
		1	2
Proportion d'extrait sec	ES	35 %	50 %
Température de séchage	T	ambiante	40 °C
Vitesse de trempage	V	5 cm / min	10 cm / min
Humidité du bois	H	10 ± 2 %	15 ± 2 %
Interaction entre ES et T	ES/T		
Interaction entre ES et A	ES/V		
Interaction entre ES et H	ES/H		

– Le groupe a choisi une table Taguchi de type $L_8(2^7)$ signifiant 8 expériences (L_8) permettant de tester 7 facteurs à 2 modalités (2^7), *cf.* la figure 12.8. Il choisit le positionnement des facteurs dans la table, organise les essais et définit le protocole puis passe à la phase d'expérimentation.

- **Phases d'expérimentation et d'analyse**

Les expériences menées et les résultats sont présentés sous la forme d'un document de saisie et d'exploitation synthétique (figure 12.8).

TABLE TAGUCHI $L_8(2^7)$								REPONSES DES FACTEURS						
Exp. N°	Facteurs et interactions							Résultats des essais					Moyenne	Etendue
	ES	T	ES/T	V	ES/V	ES/H	H	1	2	3	4	5		
1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	3	4	3	3,60	1
2	1	1	1	2	2	2	2	7	5	6	6	7	6,20	2
3	1	2	2	1	1	2	2	4	3	3	4	3	3,40	1
4	1	2	2	2	2	1	1	3	2	3	3	2	2,60	1
5	2	1	2	1	2	1	2	5	3	5	4	5	4,40	2
6	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1,60	1
7	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1,40	1
8	2	2	1	2	1	1	2	2	4	3	4	2	3,00	2
											Moyennes		**3,275**	**1,375**

ES	T	ES/T	V	ES/V	ES/H	H		
0,675	0,675	0,275	-0,075	-0,375	0,125	-0,975	**Niv 1**	**Moyenne**
-0,675	-0,675	-0,275	0,075	0,375	-0,125	0,975	**Niv 2**	
-0,125	0,125	0,125	-0,125	-0,125	0,125	-0,375	**Niv 1**	**Etendue**
0,125	-0,125	-0,125	0,125	0,125	-0,125	0,375	**Niv 2**	
EFFETS DES FACTEURS								

Figure 12.8 Expériences et résultats

Remarques explicatives :

– La valeur mesurée pour chacun des 5 essais des 8 expériences correspond au nombre de taches (défauts) comptabilisées sur l'ouvrage.
– Pour chaque expérience, la moyenne et l'étendue des 5 essais sont calculées (l'écart type pourrait être utilisé également).
– La moyenne des moyennes (3,275) et la moyenne des étendues (1,375) sont calculées ensuite (effets moyens ou réponses moyennes).
– L'effet de chaque facteur et interaction peut ensuite être calculé en appliquant le principe[145] (de symétrie) suivant :

Effet d'un facteur au niveau 1 = moyenne des réponses des expériences où le facteur est au niveau 1 – effet moyen

À titre d'exemple, pour le facteur T, on obtient pour la moyenne :

$$\text{Effet } T_{(1)} = [(3{,}60 + 6{,}20 + 4{,}40 + 1{,}60) / 4] - 3{,}275 = + 0{,}675$$

Ce qui signifie que si ce facteur est au niveau 1, il a pour effet d'augmenter de 0,675 le nombre moyen de taches (3,275).

Par symétrie, Effet $T_{(2)} = - 0{,}675$, signifiant qu'il diminue le nombre moyen de taches au niveau 2.

Le même principe de calcul s'applique pour le calcul de l'étendue :

$$\text{Effet } T_{(1)} = [(1 + 2 + 2 + 1) / 4] - 1{,}375 = - 0{,}125$$

et par symétrie Effet $T_{(2)} = + 0{,}125$

La figure 12.9 donne la représentation graphique de ces résultats.

À partir de ces résultats d'expériences, le groupe peut rechercher la combinaison optimale par rapport à l'objectif. Il sélectionne le niveau des facteurs qui ont tendance à baisser l'effet moyen, vérifie le niveau des interactions induit par ses choix, et au besoin change un niveau de facteur peu influent pour obtenir le niveau d'interaction désiré (pour être à 1, les deux facteurs d'une interaction doivent être au même niveau).

---

[145] Pour la justification mathématique de ce principe, le lecteur est invité à consulter les ouvrages spécialisés sur le sujet.

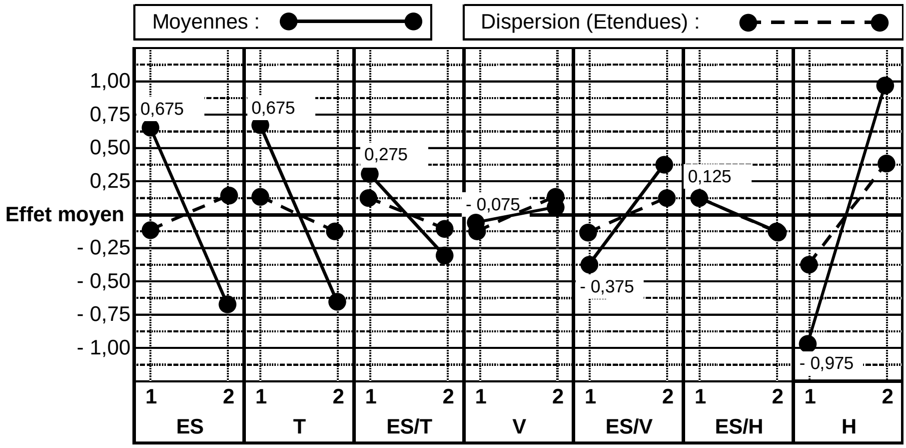


Figure 12.9 Représentation graphique des résultats

Compte-tenu de leurs effets, il serait souhaitable de sélectionner les facteurs simples aux niveaux suivant : $ES_{(2)}$, $T_{(2)}$, $H_{(1)}$ et sélectionner le niveau de V (peu influent) en fonction du niveau d'interaction souhaitée.

Les interactions conséquentes sont : $ES/T_{(1)}$, $ES/V_{(1)}$donc $V_{(2)}$ et $ES/H_{(2)}$.

L'effet prévisible de ce réglage optimal donnerait une moyenne de :

3,275 – 0,675 – 0,675 + 0,275 + 0,075 – 0,375 – 0 ,125 – 0,975 = 0,8 taches

La dispersion prévisible serait de :

1,375 + 0,125 – 0,125 – 0,125 + 0,125 – 0,125 –0.125 – 0,375 = 0.75 taches

(soit 1.55 taches au maximum et 0,05 taches au minimum).

Il est à noter que cette combinaison n'a pas été testée lors de la série d'essais.

L'intérêt de cette méthode est précisément qu'elle permet d'extrapoler à partir des résultats.

- **Phases de validation**

Il reste au groupe à organiser une série d'essais avec le réglage optimal retenu, c'est-à-dire : **$ES_{(2)}$, $T_{(2)}$, $H_{(1)}$ et $V_{(2)}$** avec les interactions résultantes **$ES/T_{(1)}$, $ES/V_{(1)}$ et $ES/H_{(2)}$**.

Généralement l'essai de confirmation valide les résultats prévisionnels.

12.6 La maintenance

Les activités de maintenance visant à dépanner un équipement ont toujours existé, mais elles n'étaient pas forcément formalisées et ne s'appuyaient pas nécessairement sur des spécialistes utilisant des méthodes spécifiques. Elles visaient essentiellement la réparation du matériel en cas de pannes. D'ailleurs, à l'origine, le terme « entretien » était utilisée dans l'industrie qui formalisa le terme de maintenance à la fin des années 1970. Dans les années 1990, elle gagna également les entreprises de service pour concerner aujourd'hui tous les secteurs d'activité : production, services, immobilier, transport, logiciel…

La norme NF EN 13306 de juin 2001 définit la maintenance ainsi : « ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ».

La fonction maintenance est incontournable et vise principalement :

– la disponibilité des équipements,
– la sécurité des personnes et des biens,
– un accroissement de la productivité par une gestion efficace (réduction des coûts).

La maintenance peut se décomposer en deux types : la maintenance corrective et la maintenance préventive.

12.6.1 Maintenance corrective[146]

La norme NF EN 13306 de juin 2001 donne la définition suivante : « maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ».

En d'autres termes, l'intervention de maintenance est réalisée lors de la défaillance de l'équipement et englobe :

– La **maintenance palliative** qui consiste à réparer provisoirement l'équipement afin d'assurer rapidement la fonction requise (complètement ou partiellement). Elle devra être suivie d'une action curative.
– La **maintenance curative** qui vise à remettre l'équipement conformément à son état initial.

[146] Traduction littérale de l'anglais, le terme « correctrice » conviendrait mieux en français.

Remarque : La **maintenance différée** est une « maintenance corrective qui n'est pas exécutée immédiatement après la détection d'une panne, mais retardée en accord avec des règles de maintenance données » (NF EN 13306 de juin 2001).

12.6.2 Maintenance préventive

La norme NF EN 13306 de juin 2001 donne la définition suivante : « maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien ».

Elle consiste donc à intervenir préventivement avant la défaillance et comprend :

– La **maintenance systématique** : « maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien » (NF EN 13306 de juin 2001).

– La **maintenance programmée** : « maintenance préventive exécutée selon un calendrier préétabli ou selon un nombre défini d'unités d'usage » (NF EN 13306 de juin 2001).

– La **maintenance conditionnelle :** « maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent » (NF EN 13306 de juin 2001).

  L'équipement fait l'objet d'une surveillance (par exemple : analyse des vibrations, mesure thermique par infra rouge…) afin de détecter le risque probable d'une avarie et d'intervenir avant l'apparition de celle-ci. Il s'agit donc d'une maintenance réalisée en fonction de l'état du matériel (condition en anglais).

– La **maintenance prévisionnelle** (*Prédictive Maintenance*, en anglais) : « maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien » (NF EN 13306 de juin 2001).

  Cette maintenance part donc de la surveillance du matériel et de la conduite d'analyses périodiques afin de suivre l'évolution de la dégradation du matériel et de déterminer la période d'intervention. Le terme « prédictive » est à éviter en français, car il pourrait facilement être associé à la « voyance » (peu scientifique).

12.6.3 Notion de fiabilité

Les besoins en maintenance sont étroitement liés à la fiabilité des équipements. La fiabilité est l'« aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné. Le terme fiabilité est également utilisé pour désigner la valeur de la fiabilité et peut être défini comme une probabilité » (NF EN 13306 de juin 2001).

La connaissance de la fiabilité des équipements permet de mieux définir la politique de maintenance à appliquer et d'aider à un choix judicieux lors de l'acquisition de nouveaux matériels. Certaines entreprises utilisent même des études de fiabilité prévisionnelle dès la phase de conception.

Il existe trois lois mathématiques fréquemment utilisées pour caractériser la fiabilité d'un équipement suivant un contexte donné : loi normale, loi exponentielle et loi de Weibull.

L'indicateur **MTBF** (*Mean Time Between Failures*) est fréquemment utilisé pour suivre la fiabilité d'un équipement. Il peut être traduit par « temps moyen entre deux pannes ».

12.6.4 Notion de maintenabilité

La norme NF EN 13 306 définit la maintenabilité ainsi : « dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits ».

L'indicateur **MTTR** (*Mean Time To Repair*) permet de mesurer la maintenabilité d'un équipement. Il peut être traduit par « temps moyen jusqu'à la réparation ».

12.6.5 Autres indicateurs (liste non limitative)

- **MTBD** (*Mean Time Between Défects*) : temps moyen entre défauts.
- **MTBE** (*Mean Time Between Errors*) : temps moyen entre erreurs.
- **MTBM** (*Mean Time Between Maintenances*) : temps moyen entre maintenances.
- **MTBO** (*Mean Time Between Overhauls*) : temps moyen entre révisions.
- **MTBR** (*Mean Time Between Removals*) : temps moyen entre déposes.

- **MTBUR** (*Mean Time Between Unscheduled Replacements*) : temps moyen entre remplacements non planifiés.
- **MTTF** (*Mean Time To Failure*) : temps moyen sans panne ou (*Mean Time To Fix*) : temps moyen entre l'apparition d'un problème et sa solution.
- **MTTM** (*Mean Time To Maintenance*) : temps moyen jusqu'à la maintenance.
- **MTTR** (*Mean Time To Recovery*) : temps moyen remise en route ou (*Mean Time To Repair*) : temps moyen jusqu'à la réparation, ou (*Mean Time To Restoration*) : temps moyen jusqu'à la remise en service.
- **MTTUR** (*Mean Time To Unscheduled Removal*) : temps moyen jusqu'à la dépose non programmée.

12.6.6 Maintenance et TPM

La maintenance autonome (*Autonomous Maintenance*) est un élément de la TPM[147] (*Total Productive Maintenance*).

Dans le cadre des équipes autonomes, les compétences des opérateurs sont élargies et concernant la maintenance, ils prennent fréquemment en charge l'entretien courant et les petites interventions.

La montée en compétence des opérateurs est obtenue par une formation adaptée au besoin. Ils assurent fréquemment dans ce cas :

- le nettoyage et les inspections en vue de déceler les anomalies et les dysfonctionnements,
- l'entretien courant,
- la maintenance de premier niveau (diagnostic et réparation),
- la programmation du service maintenance (interventions qui demeurent hors de leurs compétences),
- le suivi (historique, audits, indicateurs),
- l'évolution et l'amélioration des procédures.

---

[147] *Cf.* Paragraphe 4.9.

La maintenance autonome permet :

– une plus grande réactivité en cas d'anomalie,
– une plus grande motivation et responsabilisation des opérateurs,
– une autonomie plus importante lors du travail en équipe de nuit.

Lors d'une réorganisation du service maintenance, les techniciens sont déchargés des opérations de base et peuvent se consacrer à l'organisation d'une maintenance préventive efficace, à l'amélioration continue dans le cadre de groupes de travail…

Bibliographie

AFITEP, *Dictionnaire de management de projet,* Afnor, 2000.

Baglin G., Bruel O., Garreau A., Greif M., *Management Industriel et Logistique,* Economica, 1990.

Bellut S., *Maîtriser les coûtsd'un pprojet. Le management par la valeur,* Afnor, 2006.

Bernad J., *Approche systémique de l'entreprise et de son information,* Masson, Organisation Industrielle, 1992.

Biteau R. et S., *Maîtriser les flux industriels, les outils d'analyse,* Éditions d'Organisation, 1998.

Biteau R., Gavaud M., *Dictionnaire de la gestion industrielle,* Iserpa/MGCM, 1994.

Blondel F., *La gestion de la production. Comprendre les logiques de la gestion industrielle pour agir,* Dunod, 1999.

Boyer L., Poirée M., Salin E., *Précis d'organisation et de gestion de la production*, Editions d'Organisation, 1986.

Carillon J.-P., *Le Juste-à-temps dans la gestion des flux industriels,* Editions Hommes et techniques, 1986.

Chapeau P., *Les clefs du Juste-à-temps, guide pratique pour les agents de maîtrise et les techniciens*. Éditions ESF, 1983.

Courtois A., Martin-Bonnefous C., Pillet M., *Gestion de production,* Éditions d'Organisation, 2002.

Colin R., *Produire juste-à-temps en petite série*, Éditions d'Organisation.

Dictionary APICS, 12e édition.

Erschler J., Grabot B., *Gestion de production. Fonctions, techniques et outils,* Hermes, 2001.

Fernez-Walch S., *Management de nouveaux projets. Panorama des outils et des pratiques,* Afnor 2000.

Giard V., *Gestion de la production et des flux,* Economica, 2003.

Goldratt E.M., *Critical chain. La chaîne critique,* Afnor, 2002.

Goldratt E.M., Cox J., *Le but. Un processus de progrès permanent,* Afnor, 2006.

Grua H., Segonzac J-M., *La production par les flux. Configurer les processus industriels autour des besoins clients,* Dunod, 1999.

Javel G., *Pratique de la gestion industrielle. Organisation, méthodes et outils*, Dunod, 2003.

Javel G, *Organisation et gestion de la production*, cours et exercices corrigés, Masson, 1997.

Kusiak A., *Engineering Design : product, process and systems*, Academic press, 1999.

Laville A., *L'ergonomie,* Presses universitaires de France, 1976.

Lambersend F., *Organisation et génie de production. Concepts d'optimisation des flux industriels par stock zéro, délai zéro,* Ellipses, 1999.

Lequeux J.-L., *Manager avec les ERP*, Éditions d'Organisation, 2000.

Lunn T., Neff S.A., *MRP integrating material requirements planning and modern business,* Business one Irwin/APICS series in production, 1992.

Marris P., *Le management par les contraintes en gestion industrielle,* Éditions d'Organisation, 1994.

Martin André J., *Distribution Resource Planning, DRP, le moteur de l'ECR,* Edition française, diffusion ASLOG, 1996.

Mondon C., *Le chaînon manquant. Management de la chaîne logistique,* Afnor, 2008.

Muller J.-L. G., *Management de projet,* Afnor, 2005.

Noulin M., *Ergonomie,* Techniplus, 1992.

Pillet M., *Appliquer la maîtrise statistique des procédes, MSP/SPC*, Éditions d'Organisation, 1999.

Probst G.J.B, Mercier J.Y., Bruggimann O., Rakotobarison A., *Organisation et management, structurer l'organisation*, Éditions d'Organisation.

Proth J.-M., *Conception et gestion des systèmes de production*, Presses Universitaires de France, 1992.

Renaud J., Bonjour É., Chebel Morello B., Fuchs B., Matta N., *Retour et capitalisation d'expérience. Outils et demarches*, Afnor, 2008.

Réseau ANACT, INRS, *Repères sur le travail*, 2001.

Slack N., Chambers S., Johnston R., *Operations Management*, Prentice hall, 2001.

Shingo S., *Le système SMED*, Éditions d'Organisation, 1987.

Shingo S., *Maîtrise de la production et méthode Kanban : le cas toyota,* Éditions d'Organisation, 1983.

Shingo S., *La production sans stock*, Éditions d'Organisation, 1990.

Shingo S., *Le système Poka-Yoké,* Éditions d'Organisation.

Tarondeau JC., *La gestion de production*, PUF, 1996.

William A., Sandras Jr., *Just-in-time : making it happen,* Éditions Oliver Wight.

Wollmann T.E, Berry W.L, Whybark D.C, *Manufacturing planning and control systems*, Business one Irwin/APICS series in production management.

De manière générale, **AFNOR** et les **Éditions d'Organisation** publient de nombreux ouvrages relatifs à la gestion industrielle.

La bibliographie APICS peut être obtenue auprès de MGCM Michel Gavaud, 10, rue des Trois Fontonot, 92022 Nanterres Cedex. Tél. : 01 49 67 06 01. Fax : 01 47 14 12 65.